

ANÁLISE DE SOLUÇÕES PARA DIVISA DE TERRENO: SAPATAS SUBMETIDAS A CARGAS EXCÊNTRICAS

Matheus David Silva de Oliveira, e-mail: matheusdavid.br@gmail.com
Me. Fernanda Calado Mendonça, e-mail: fernanda.mendonca@fpb.edu.br

Resumo

Em face ao elevado aumento nos preços dos materiais de construção civil, aliado ao desafio de aproveitá-los racionalmente visando um melhor aporte financeiro em determinados processos executivos, este trabalho objetivou-se a realizar uma análise entre duas soluções de emprego de sapatas submetidas a cargas excêntricas em divisas de terreno: sapatas de divisa com e sem adoção de vigas de equilíbrio. Para isso, utilizou-se o software de cálculo estrutural CypeCAD para realizar o levantamento quantitativo dos materiais estruturais empregados para os dois tipos de fundação, as quais receberam ações atuantes oriundas de uma edificação modelo, do tipo unifamiliar de pequeno porte, projetada com as extremidades dos pilares alinhadas junto às faces de divisa do terreno. A edificação modelo adotada foi de quatro pavimentos e de concepção estrutural em concreto armado, onde à princípio foi lançada no CypeCAD, onde se obteve as cargas nas fundações, para o posterior dimensionamento e detalhamento das sapatas de divisa e vigas de equilíbrio, com base nos parâmetros descritos. Discutiu-se os resultados, destacando-se a economia relativa ao consumo do aço, concreto e madeira, bem como o tempo de execução destas soluções em obras. Concluiu-se que a fundação em sapata de divisa apresentou um consumo de aço, concreto e madeira e um tempo de execução mais elevado comparado à fundação em sapatas de divisa com o uso da viga de equilíbrio.

Palavras-chave: Estrutura, Cargas Excêntricas, Sapatas, Vigas de Equilíbrio.

Abstract

In view of the high increase in the prices of construction materials, combined with the challenge of using them rationally to improve the financial contribution in certain executive processes, this work aimed to perform an analysis between two solutions for the use of footings subjected to eccentric loads on the land boundary: boundary footings with and without the adoption of balance beams. For this, the structural calculation software CypeCAD was used to perform a quantitative survey of the structural materials used for the two types of foundations, which received acting actions from a model building, a small family building, designed with the ends of the columns aligned along the land boundary faces. The model building adopted had four floors and a reinforced concrete structural conception, where at first it was launched in CypeCAD, where the loads on the foundations were obtained, for subsequent dimensioning and detailing of the boundary footings and balance beams, based on the parameters described. The results were discussed, highlighting the economy related to the consumption of steel, concrete and wood, as well as the execution time of these solutions in construction sites. It was concluded that the boundary footing foundation had higher steel, concrete and wood consumption and execution time compared to the boundary footing foundation with the use of the balance beam.

Keywords: Structure, Eccentric Loads, Footings, Equilibrium Beams.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente a construção civil é responsável pelo consumo de boa parte da matéria prima produzida no mundo, e segundo CORREIA (2021), o concreto é o segundo material mais consumido no mundo, ficando atrás apenas da água e estima-se que anualmente são consumidas 11 bilhões de toneladas de concreto, algo em torno de 1,9 tonelada de concreto por cada habitante do planeta. É um material aceitável internacionalmente, e no Brasil não é diferente, amplamente empregado em diversas atividades.

O concreto é um material composto formado por cimento, agregados miúdos, agregados graúdos e água, que por sua vez permite-se moldar-se em diversas formas de acordo com as concepções arquitetônicas. O concreto quando empregado como material estrutural, apresenta-se com elevada resistência aos esforços de compressão e baixa resistência aos esforços de tração, podendo, esta última, ser contornada com o emprego adequado de armadura, geralmente constituída de barras de aço, obtendo-se o concreto armado.

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014) os elementos de concreto armado são aqueles cujo comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura, e nos quais não se aplicam alongamentos iniciais das armaduras antes da materialização dessa aderência.

Além de se tratar de uma estrutura monolítica, ou seja, que se comporta como um conjunto rígido, o concreto armado, apresenta outras grandes vantagens como:

(...) materiais econômicos e disponíveis com abundância no globo terrestre; grande facilidade de moldagem, permitindo adoção das mais variadas formas; emprego extensivo de mão de obra não qualificada e equipamentos simples; elevada resistência à ação do fogo; grande estabilidade, sob ação de intempéries, dispensando trabalhos de manutenção; aumento da resistência à ruptura com o tempo; facilidade e economia na construção de estruturas contínuas, sem juntas (ANDOLFATO, 2002).

Segundo COUTO (2013), apresenta, também, desvantagens como: peso próprio elevado; menor proteção térmica; reformas e demolições - trabalhosas e caras; exigência construtiva – precisão no posicionamento das armaduras; fissuras inevitáveis na região tracionada; construção definitiva.

Independentemente do porte da construção, ela precisa de uma estrutura, geralmente, tratando-se de concreto armado, constituída por lajes, vigas, pilares e fundação, sendo esta última, o elemento estrutural responsável por transmitir ao solo todas as ações atuantes na edificação. As fundações são divididas em dois grupos: superficiais e profundas.

A fundação superficial é o elemento de fundação cuja base está assentada em profundidade inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação, recebendo aí as tensões distribuídas que equilibram a carga aplicada (NBR 6122, 2019). Alguns exemplos de fundação superficial: sapata isolada, sapata corrida, sapata associada, blocos, radier. A NBR 6122 (2019) define a fundação profunda conforme a seguir:

A fundação profunda é o elemento de fundação que transmite a carga ao terreno ou pela base (resistência de ponta) ou por sua superfície lateral (resistência fuste) ou por uma combinação das duas, sendo sua ponta ou vase apoiada em uma profundidade superior a oito vezes a sua menor dimensão em planta e no mínimo 3 m; quando não for atingido o limite de oito vezes a denominação é justificada. Neste tipo de fundação incluem-se as estacas e os tubulões (NBR 6122, 2019).

Sapata é o elemento de fundação rasa, de concreto armado, dimensionado de modo que as tensões de tração nele resultantes sejam resistidas pelo emprego de armadura especialmente disposta para esse fim (NBR 6122, 2019).

Geralmente as edificações são projetadas com as extremidades dos pilares alinhadas junto às faces de divisa do terreno, a fim de obter o maior aproveitamento possível dos espaços. Portanto, quando essa ocupação de divisa de terreno acontece com o emprego das sapatas como solução na fundação, dá-se o nome às sapatas nessa condição de sapata de divisa. A NBR 6122 (2019) recomenda outras soluções que podem ser utilizadas neste cenário, assim como o uso da viga de equilíbrio.

Viga equilíbrio ou de alavanca é o elemento estrutural que recebe as cargas de um ou dois pilares (ou pontos de carga) e é dimensionado de modo a transmiti-las centradas às fundações. Da utilização de viga de equilíbrio resultam cargas nas fundações diferentes das cargas dos pilares nela atuantes (NBR 6122, 2019).

A viga de equilíbrio tem a função não só de transmitir a carga atuante verticalmente no pilar que se encontra na divisa com outro terreno para o centro de gravidade da sapata de divisa, mas também, tem a finalidade de resistir ao momento fletor que é gerado a partir da excentricidade dessa carga atuante no pilar em relação ao centro de gravidade da sapata, sendo este momento equilibrado devido a existência da viga de equilíbrio que compensa o momento fletor.

Como este trabalho delimita-se ao estudo do emprego de sapatas submetidas a cargas excêntricas com e sem o uso de vigas de equilíbrio em terreno de divisa, portanto, foi dada maior atenção a este tipo de fundação.

Em face à existência dessas soluções de fundação em divisas de terreno, aliado ao desafio que a indústria da construção civil tem em aproveitar os materiais estruturais visando um melhor aporte financeiro em determinados processos executivos, este trabalho objetivou-se a realizar uma análise comparativa entre duas soluções de emprego de sapatas submetidas a cargas excêntricas: sapatas de divisa com e sem adoção de vigas de equilíbrio. Essa comparação se dará através da modelagem e análise estrutural a ser realizada por meio do *software CypeCAD*, destacando-se a economia relativa ao consumo de materiais (aço, concreto e fôrmas) e à execução destas soluções em obras.

Justifica-se a realização deste trabalho acadêmico na medida em que há o interesse pela busca dos resultados dessa análise comparativa por parte não só dos empreendedores que atuam na construção civil, bem como pelos profissionais que atuam na área de projetos estruturais, uma vez que é de fundamental importância para os envolvidos munir-se de dados a fim de subsidiar as decisões no momento da concepção e análise estrutural.

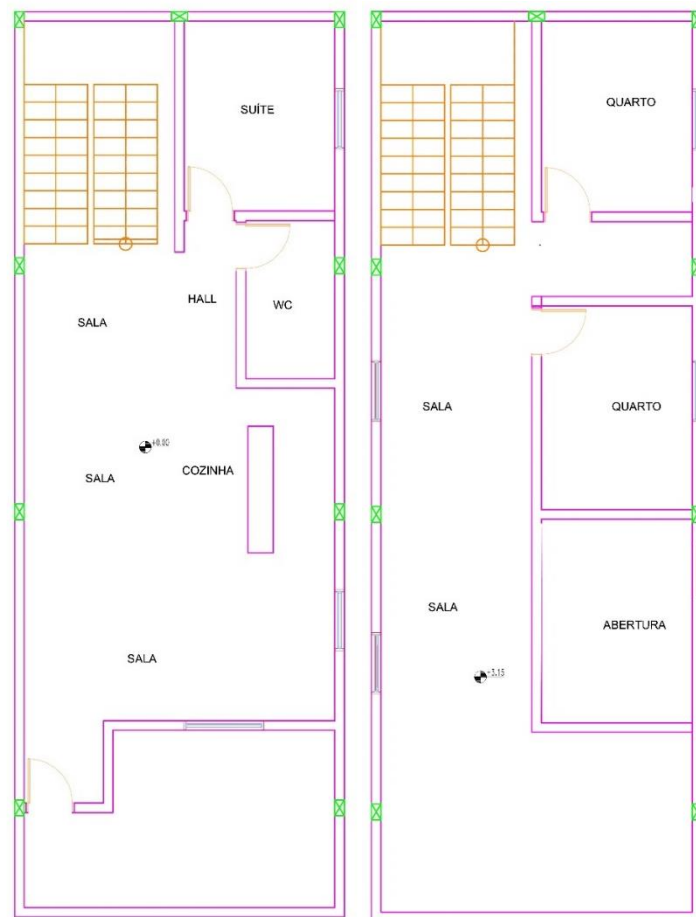
2 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste estudo adotou-se uma edificação modelo do tipo unifamiliar de pequeno porte criado pelo autor, onde a mesma situa-se num terreno que apresenta restrição de divisa quanto ao seu contorno da direção Y. O projeto arquitetônico adotado possui área construída de 218,16 m², conforme a Figura 1, sendo distribuídos entre pavimento térreo (+0,00), um pavimento tipo superior (+3,15m), pavimento cobertura (+6,30m), coberta (+9,45m), e por fim, um pavimento destinado exclusivamente para suporte da caixa d'água (+10,65m).

Tomando por base o referido projeto, analisou-se a arquitetura, e posteriormente iniciou-se a concepção estrutural de modo a definir alguns parâmetros de compatibilização dos projetos, evitando assim, que a locação de pilares e vigas pudessem obstruir portas e janelas, afetando o projeto arquitetônico da edificação. Lista-se alguns dos parâmetros definidos na concepção estrutural: medidas padrões nas vigas baldrame de 15x30 cm e vigas aéreas de 15x40 cm. O fechamento adotado foi de alvenaria do tipo blocos cerâmicos vazados (14x19x19cm) com altura de 2,75m. Já para as lajes, no pavimento tipo superior, cobertura, coberta e caixa d'água

foi utilizado o tipo vigotas treliçadas pré-moldadas com enchimento em bloco EPS e com altura de 12 cm e espessura de camada de compressão de 5 cm de concreto. Como foram previstas três escadas do tipo U e um pé direito duplo entre o térreo e o primeiro andar, foram definidas aberturas equivalentes aos espaços previstos no projeto arquitetônico. Adotou-se a resistência de 25 Mpa (CA 25) para o concreto utilizado nas lajes, vigas, pilares e sapatas e Classe de Agressividade de Ambiental II.

Figura 1- Planta Baixa do Pavimento Térreo e Primeiro Andar – Escala 1:75

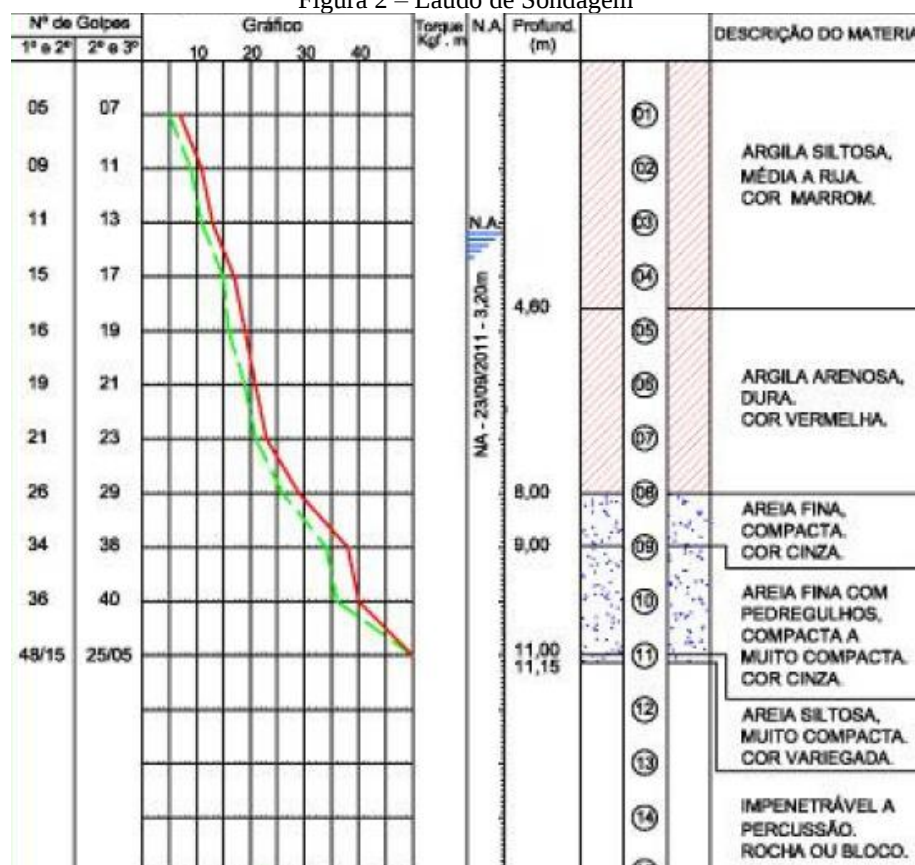


Fonte: Autor (2022)

O tipo de execução de ensaio de sondagem do solo adotado foi a percussão, conforme Figura 2. Este ensaio foi encontrado no repositório da ferramenta de pesquisa *google*, com as seguintes informações: realizado em janeiro de 2021; objetivou-se a estudar o solo para receber as tensões referentes a estrutura de uma edificação de pequeno porte. Os métodos utilizados para o cálculo do NSPT dentro da zona de plastificação foram os semiempíricos indicados neste estudo.

A geometria de base das sapatas isoladas foi delimitada como sendo retangular, e sua seção excêntrica piramidal, devido ao objetivo deste estudo. E em relação ao modelo estrutural das sapatas, limitaram-se ao tipo de concreto armado de comportamento rígido, haja visto serem menos deformáveis, menos sujeitas à ruptura por punção e mais seguras. Este estudo restringiu-se a considerar apenas os pilares de canto e extremidade devido as suas distribuições de cargas diretamente para as sapatas.

Figura 2 – Laudo de Sondagem



Fonte: Google

A ferramenta computacional escolhida para o preparo e concepção estrutural da arquitetura da edificação modelo foi o *software* *AUTOCAD* (versão 2022). Já para a modelagem, dimensionamento, lançamento das cargas, cálculo da obra, verificações e correções de não conformidades com as normativas, análise do comportamento global da estrutura, e detalhamento das sapatas em pranchas, utilizou-se o *software* *CYPECAD* (versão 2022).

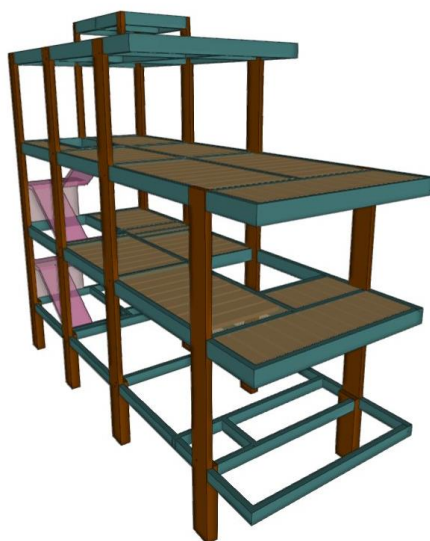
Algumas considerações sobre o *software* *CypeCAD* são comentadas a seguir: o *software* realiza o cálculo de sapatas de concreto armado de dois tipos: sapatas de altura constante e sapatas de altura variável ou piramidal; em planta classificam-se em: quadradas, retangulares centradas e retangulares excêntricas; as ações consideradas foram: permanente, sobrecarga e vento, tendo sido considerado o efeito de segunda ordem; os estados verificados foram: limite de serviço e limite último; propõe-se a realizar a verificação dos aspectos normativos da geometria e armadura da sapata.

3. RESULTADOS OBTIDOS

3.1 O lançamento inicial da Edificação Modelo no *software* *CypeCAD*

O croqui arquitetônico da edificação foi lançado no *software* de modelagem, análise, dimensionamento e detalhamento estrutural *CypeCAD*, conforme desenhos tridimensionais apresentados na Figura 3. Totalmente estruturado em concreto armado em seus três pavimentos.

Figura 3– Desenho tridimensional da estrutura



Fonte: Autor (2022)

Posteriormente a verificação da estrutura com todas as cargas de projeto e as devidas correções, iniciou-se o processo de introdução dos dados do terreno já determinados por meio da avaliação criteriosa do laudo de sondagem.

As cargas atuantes nas fundações foram classificadas em grandezas diferentes (Quadro 1). As dimensões iniciais da seção dos pilares eram 15x60cm, no entanto, foram redimensionadas para 30x60cm apenas no pavimento térreo visando a redução das excentricidades das cargas, excetuando-se o Pilar 6 que novamente foi redimensionado para 15x43cm entre o nível da cobertura e a caixa d'água para respeitar o projeto arquitetônico. Importante observar que os pilares P2 e P5 não compõem o quadro abaixo, tendo em vista que nascem em vigas de transição localizadas no pavimento cobertura e coberta, respectivamente, tendo suas cargas sido distribuídas para outros pilares.

Quadro 1- Cargas atuantes na fundação

Pilares	P1	P3	P4	P6	P7	P8	P9	P10
Seção (cm)	15x60 30x60	15x60 30x60	15x60 30x60	15x43 15x60 30x60	15x60 30x60	15x60 30x60	15x60 30x60	15x60 30x60
Carga máxima (KN)	317,9	353	440,57	485,42	362,38	392,52	338,45	339,40

Fonte: Autor (2022)

3.2 Capacidade de resistência do solo

A edificação modelo em questão possui projeção de 153 m². Sendo assim, segundo os critérios estabelecidos pela NBR 8036 (ABNT, 1983) são necessários no mínimo duas sondagens para melhor descrição do solo do terreno a que se destinará a obra.

Considerando que os resultados indicados no laudo de sondagem dos dois furos (SP-01 e SP-02) foram idênticos, a cota de assentamento das sapatas sendo 2 m e tomando por base o pilar da edificação que distribui a maior carga (Pilar 6 = 485,42 KN = 49,48 Tf, conforme Quadro 1), calculou-se a carga admissível do solo dentro da zona de plastificação (Zp) da seguinte forma:

A princípio estimou-se a dimensão da sapata da seguinte forma: $\sigma_a = 1 \text{ kgf/cm}^2$ (adotou-se uma tensão admissível baixa, prevendo o pior cenário a favor da segurança). Para o cálculo da área necessária foi utilizada a Equação (1).

$$A = \frac{F}{\sigma\alpha} = \frac{49480}{1} = 49480 \text{ cm}^2 \quad (1)$$

Onde:

$\sigma\alpha$ = tensão admissível (kgf/cm²)

F = carga aplicada pelo pilar (kg)

A = área (cm²)

Supondo que se tem uma sapata quadrada, então para obter um lado da sapata tem-se 222 cm.

Berberian (2015) recomenda que o SPT brasileiro médio, dentro da Z_p, seja considerado 1,5 vezes o valor da menor dimensão do diâmetro ou menor lado da base, conforme a Equação (2).

$$Z_p = 1,5 \times B = 1,5 \times 222 = 3,33 \text{ m} \cong 3 \text{ m} \quad (2)$$

Sendo assim, fez-se a média dos valores do SPT encontrados dentro da zona de plastificação, e verificou-se o solo predominante nesta área, bem como identificou-se a tensão admissível do solo que receberá as cargas da edificação, conforme Equação (3).

$$\begin{aligned} NSPT_{\text{médio}} &= \frac{SPT_{\text{médio}}}{Z_p} \\ NSPT_{\text{médio}} &= \frac{11 + 13 + 17}{3} \\ NSPT_{\text{médio}} &= 13 \text{ golpes} \end{aligned} \quad (3)$$

Após calcular o NSPT dentro da zona de plastificação, calculou-se a tensão admissível do solo pelos métodos semiempíricos indicados no Quadro 2.

Quadro 2-Métodos semiempíricos considerados

Autores	Método	Resultado
NBR 6122 (1995)	$\sigma\alpha$	$\sigma\alpha = 3,15 \text{ kgf/cm}^2$
BERBERIAN (2015)	$\sigma\alpha = \frac{NSPT}{K_{berb}}$	$\sigma\alpha = \frac{13}{4,72} = 2,75 \text{ kgf/cm}^2$
ALBIERO E CINTRA (1996)	$\sigma\alpha = \frac{NSPT}{5}$	$\sigma\alpha = \frac{13}{5} = 2,6 \text{ kgf/cm}^2$
MILTON VARGAS (1960)	$\sigma\alpha = \frac{NSPT}{K_{mv}}$	$\sigma\alpha = \frac{13}{7} = 1,85 \text{ kgf/cm}^2$
TEIXEIRA (5<NSPT<20) (1996)	$\sigma\alpha = \frac{NSPT}{5}$	$\sigma\alpha = \frac{13}{5} = 2,6 \text{ kgf/cm}^2$

Fonte: Autor (2022)

Considerando as informações do Quadro 2, a tensão média obtida através dos resultados obtidos foi dada pela expressão matemática (4).

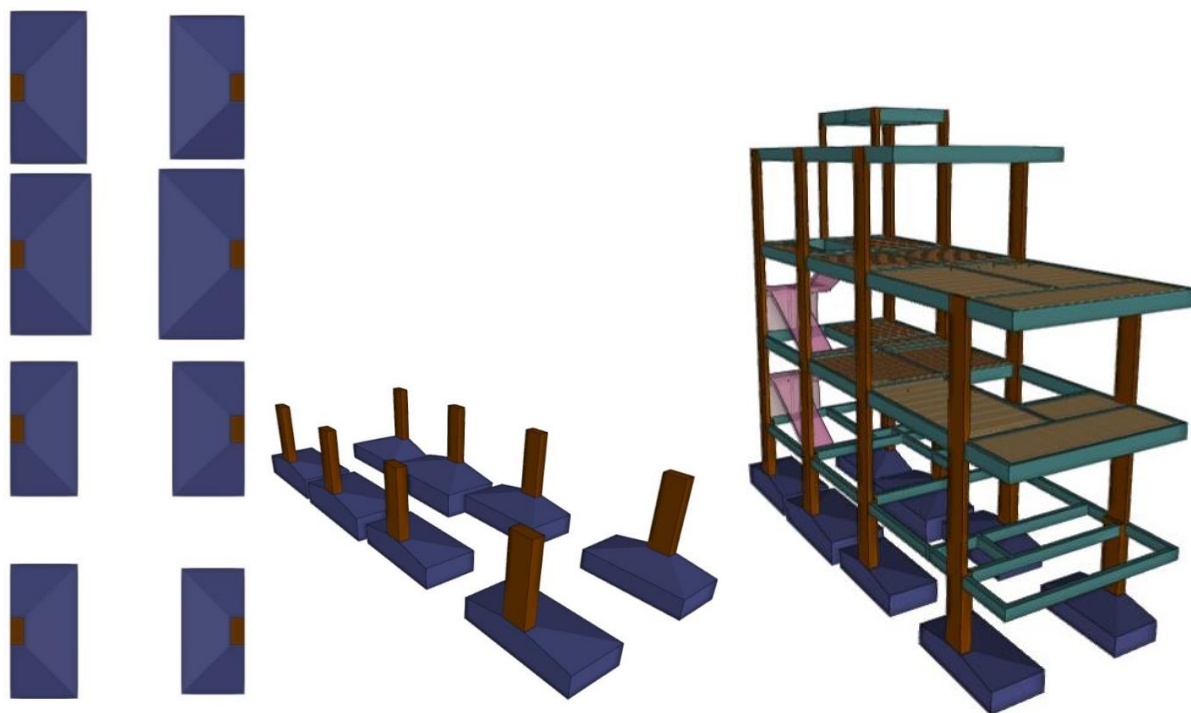
$$\sigma_{\text{média}} = \frac{3,15 + 2,75 + 2,6 + 1,85 + 2,6}{5} = 2,60 \text{ kgf/cm}^2 \quad (4)$$

Eliminando as diferenças maiores que 30%, tem-se o limite inferior de $1,82 \text{ kgf/cm}^2$, a média de $2,60 \text{ kgf/cm}^2$ e o limite superior de $3,45 \text{ kgf/cm}^2$. Como todos os valores encontram-se dentro dos limites, utilizou-se a tensão admissível de $2,60 \text{ kgf/cm}^2$.

3.3 Sapatas isoladas em divisas de terreno

Verificou-se individualmente as sapatas que foram sugeridas pelo *software CypeCAD*, de modo a otimizar a geometria e a armadura proposta a fim de obter os melhores resultados esperados quanto ao custo benefício para sapatas isoladas em divisa de terreno. A Figura 4 exibe a vista superior e tridimensional das sapatas e a estrutura global da edificação modelo.

Figura 4-Vista superior e tridimensional das sapatas e estrutura global da edificação



Fonte: Autor (2022)

Após a análise da solução apresentada para cada sapata, gerou-se os relatórios de descrição, medição e verificação. No Quadro 3 e Quadro 4 são apresentadas as dimensões das sapatas isoladas fornecidas pelo software, incluindo as quantidades das armaduras.

Quadro 3-Dimensões e disposição das sapatas S1, S2, S3 e S4

Sapatas	Pilares (cm)		Geometria das Sapatas (cm)		Sapatas (m²)	Armadura
	x	y	x	y		
P1/S1	15 30	60 60	170	340	5,78	Sup X: 27Ø16c/12.5 Sup Y: 9Ø20c/19 Inf X: 27Ø16c/12.5 Inf Y: 9Ø20c/19
P3/S2	15 30	60 60	165	320	5,28	Sup X: 25Ø16c/12.5 Sup Y: 13Ø16c/12.5 Inf X: 25Ø16c/12.5 Inf Y: 13Ø16c/12.5
P4/S3	15 30	60 60	180	360	6,48	Sup X: 12Ø25c/29 Sup Y: 16Ø16c/11 Inf X: 12Ø25c/29 Inf Y: 16Ø16c/11
P6/S4	15 15 30	43 60 60	190	380	7,20	Sup X: 22Ø20c/17 Sup Y: 16Ø16c/11 Inf X: 22Ø20c/17 Inf Y: 16Ø16c/11

Fonte: Autor (2022)

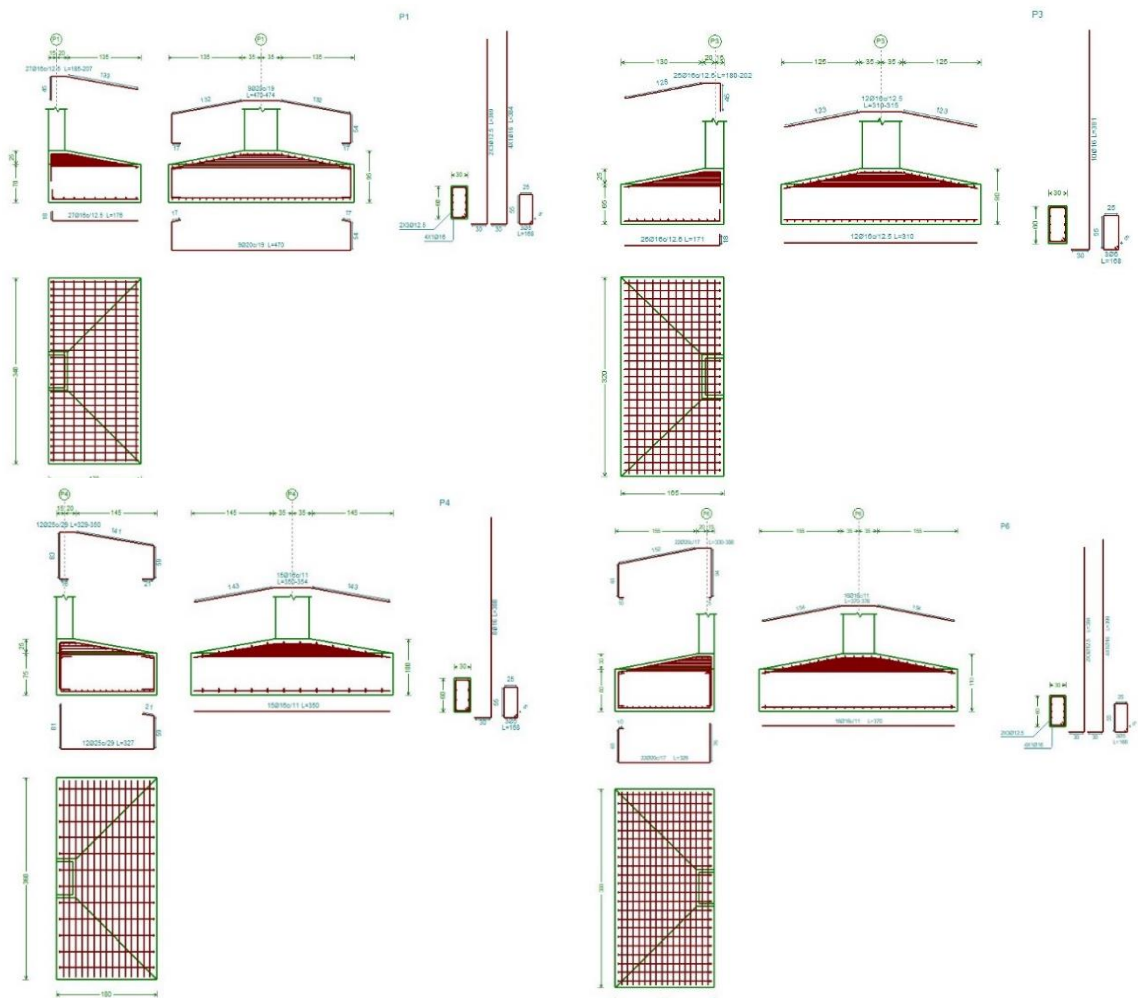
Quadro 4- Dimensões e disposição das sapatas S5, S6, S7 e S8

Sapatas	Pilares (cm)		Geometria das Sapatas (cm)		Sapatas (m²)	Armadura
	x	y	x	y		
P7/S5	15 30	60 60	150	300	4,5	Sup X: 23Ø16c/12.5 Sup Y: 11Ø16c/12.5 Inf X: 23Ø16c/12.5 Inf Y: 11Ø16c/12.5
P8/S6	15 30	60 60	160	300	4,8	Sup X: 23Ø16c/12.5 Sup Y: 8Ø20c/19 Inf X: 23Ø16c/12.5 Inf Y: 8Ø20c/19
P9/S7	15 30	60 60	150	300	4,5	Sup X: 22Ø16c/13 Sup Y: 11Ø16c/12.5 Inf X: 22Ø16c/13 Inf Y: 11Ø16c/12.5
P10/S8	15 30	60 60	140	280	3,92	Sup X: 22Ø16c/12.5 Sup Y: 11Ø16c/12.5 Inf X: 22Ø16c/12.5 Inf Y: 11Ø16c/12.5

Fonte: Autor (2022)

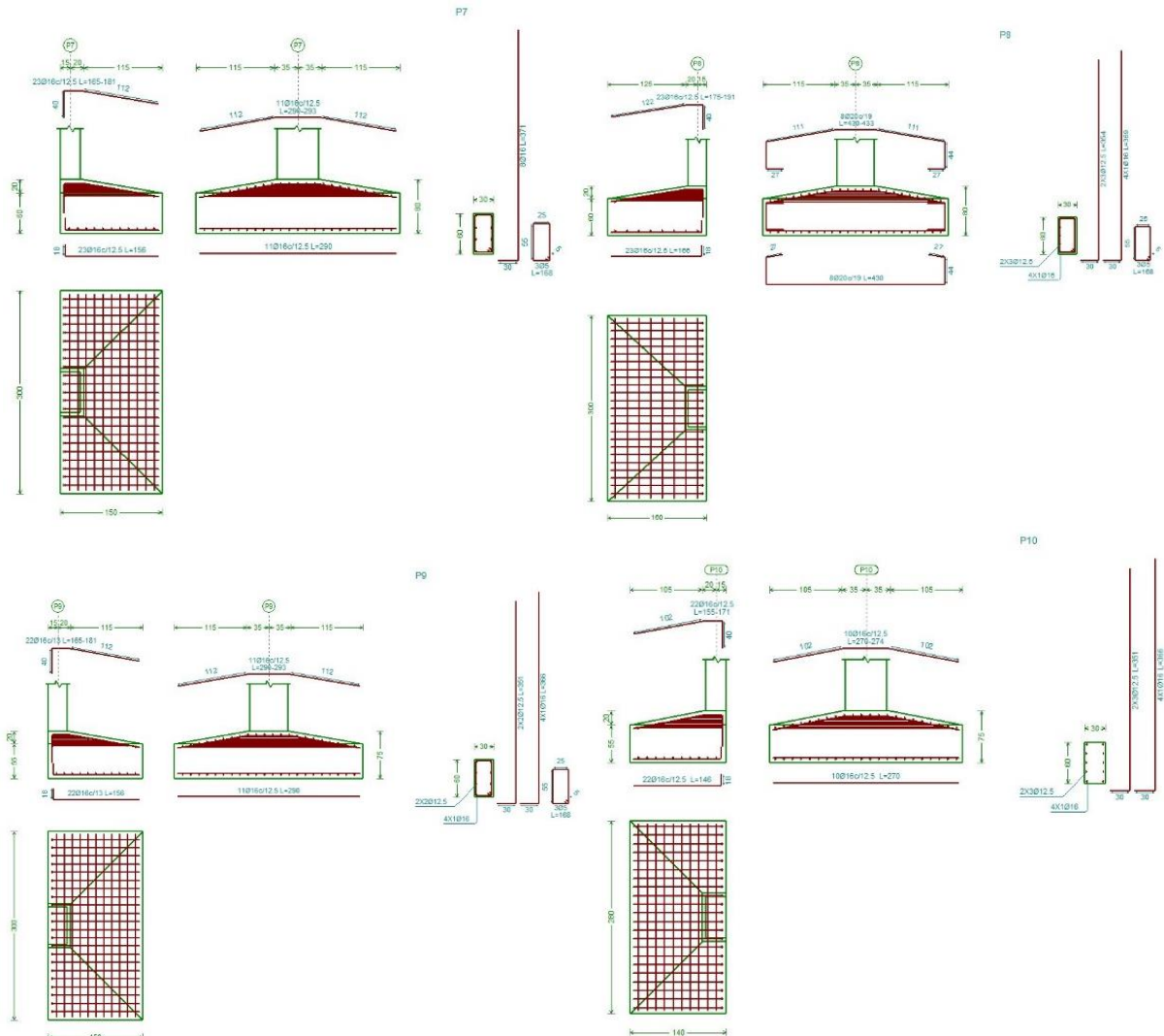
A Figura 5 e Figura 6 mostram o detalhamento das armaduras longitudinais e transversais empregadas nas sapatas isoladas, bem como o arranque dos pilares.

Figura 5-Detalhamento das sapatas isoladas P1/S1, P3/S2, P4/S3 e P6/S4



Fonte: Autor (2022)

Figura 6- Detalhamento das sapatas isoladas P7/S5, P8/S6, P9/S7 e /P10/S8



Fonte: Autor (2022)

Os resultados obtidos para cada sapata podem ser vistos no Quadro 5. Este quadro inclui os totais de armadura de aço CA-50 e CA-60 (incluindo perdas de aço motivado por cortes), quantitativo de concreto CA 25 e as áreas de fôrmas.

Quadro 5-Resumo das armaduras, concreto e fôrmas empregadas nas sapatas em divisa de terreno

Sapata	CA-50 (kg)					CA-60 (kg)	Concreto (m³)		Fôrmas (m²)
	Ø12.5	Ø16	Ø20	Ø25	Total	Ø5	C25	Limpeza	
S1	23,46	201,56	230,27	-	455,29	0,87	4,65	0,29	9,69
S2	-	360,92	-	-	360,92	0,87	4,06	0,26	6,70
S3	-	237,02	-	339,28	576,30	0,87	5,53	0,32	10,80
S4	24,41	234,45	401,10	-	659,96	0,87	6,66	0,36	12,54
S5	-	294,51	-	-	294,51	0,87	3,09	0,23	7,20
S6	22,50	165,42	187,10	-	375,02	0,87	3,29	0,24	7,36
S7	14,87	262,67	-	-	277,54	0,87	2,86	0,23	6,75
S8	22,31	238,15	-	-	260,46	-	2,50	0,20	6,30
Total	107,55	1994,70	818,47	339,28	3260,0	6,09	32,62	2,12	70,34

Fonte: Autor (2022)

Visando facilitar a montagem e escoramento das fôrmas, considerou-se a necessidade de escavação de 50 cm de solo ao redor dos elementos de fundação. Os volumes calculados para escavação estão presentes no Quadro 6.

Quadro 6- Volume escavados para as sapatas isoladas em divisas de terreno

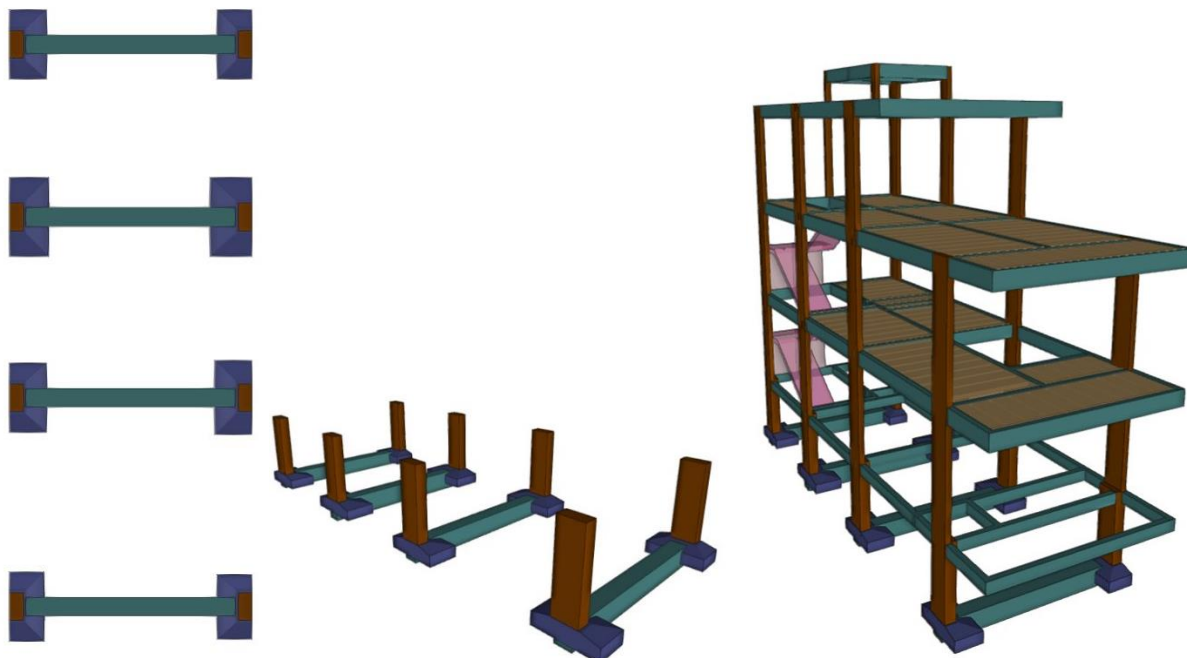
Pilares/Sapatas	Sapatas (cm)		Seção de escavação (cm)		Volume escavado (m³)
	x	y	x+50	y+50	
P1/S1	170	340	220	395	17,38
P3/S2	165	320	215	370	15,91
P4/S3	180	360	230	410	18,86
P6/S4	190	380	240	430	20,64
P7/S5	150	300	200	350	14,00
P8/S6	160	300	210	350	14,70
P9/S7	150	300	200	350	14,00
P10/S8	140	280	190	330	12,54
Total					128,03

Fonte: Autor (2022)

3.4 Sapatas com viga de equilíbrio

Como o objetivo deste trabalho é comparar sapata de divisa com e sem o uso da viga de equilíbrio, verificou-se o quantitativo de aço, concreto e fôrmas empregadas para o elemento estrutural viga de equilíbrio. A Figura 7 exibe a vista superior e tridimensional das sapatas com vigas de equilíbrio e a estrutura global da edificação modelo.

Figura 7-Vista superior e tridimensional das sapatas com viga de equilíbrio e a estrutura global da edificação



Fonte: Autor (2022)

O Quadro 7 apresenta as dimensões das sapatas fornecidas pelo software, bem como a disposição e quantitativo das armaduras.

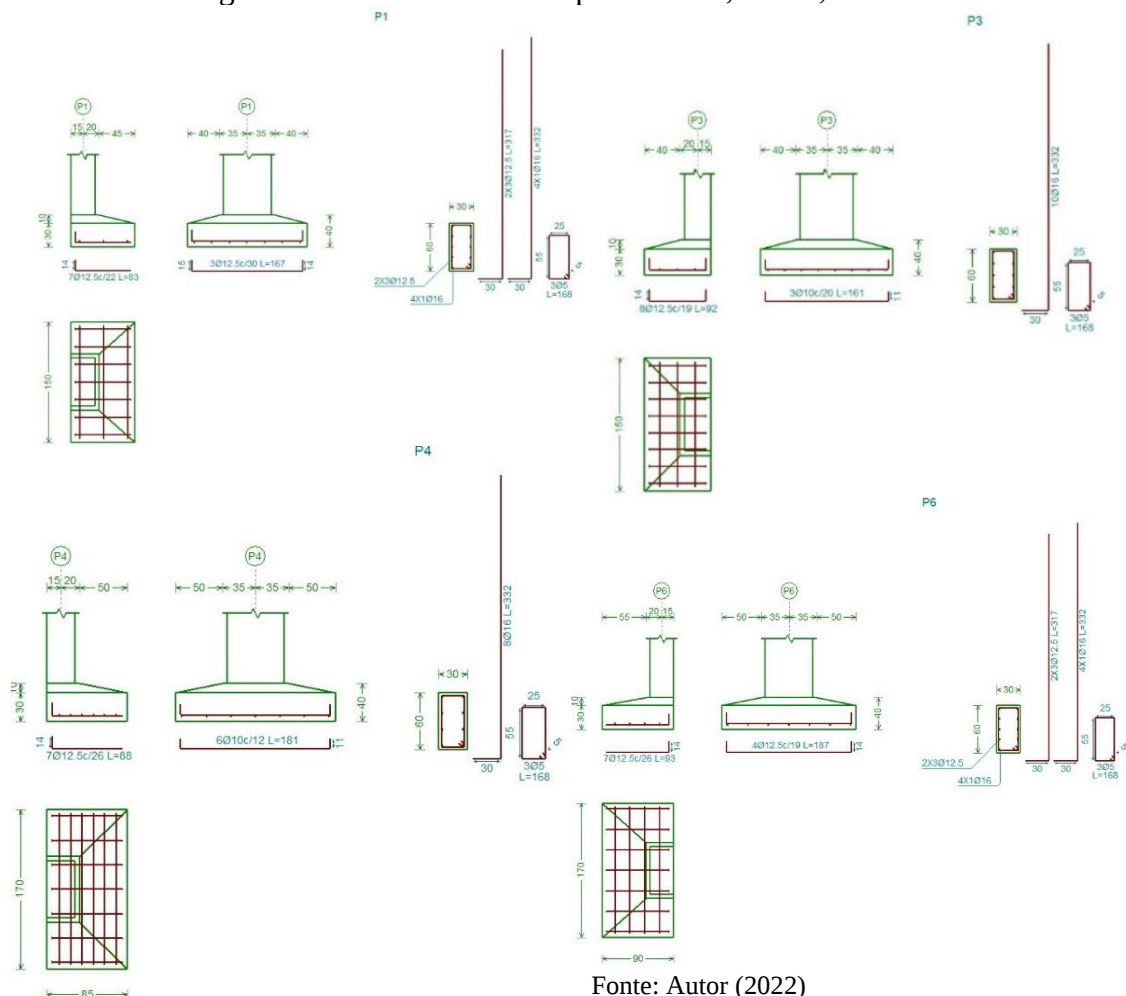
Quadro 7-Dimensão e disposição das armaduras das sapatas

Pilares/Sapatas	Pilares (cm)		Geometria das sapatas (cm)		Sapatas (m²)	Armadura
	x	y	x	y		
P1/S1	15 30	60 60	80	150	1,2	X: 7Ø12.5c/22 Y: 3Ø12.5c/30
P3/S2	15 30	60 60	75	150	1,1	X: 8Ø12.5c/19 Y: 4Ø10c/20
P4/S3	15 30	60 60	85	170	1,4	X: 7Ø12.5c/26 Y: 7Ø10c/12
P6/S4	15 15 30	43 60 60	90	170	1,5	X: 7Ø12.5c/26 Y: 5Ø12.5c/19
P7/S5	15 30	60 60	80	150	1,2	X: 7Ø12.5c/22 Y: 3Ø12.5c/29
P8/S6	15 30	60 60	80	160	1,28	X: 6Ø12.5c/29 Y: 4Ø12.5c/22
P9/S7	15 30	60 60	75	150	1,1	X: 8Ø12.5c/19 Y: 3Ø12.5c/29
P10/S8	15 30	60 60	75	140	1,05	X: 6Ø12.5c/25 Y: 3Ø12.5c/30

Fonte: Autor (2022)

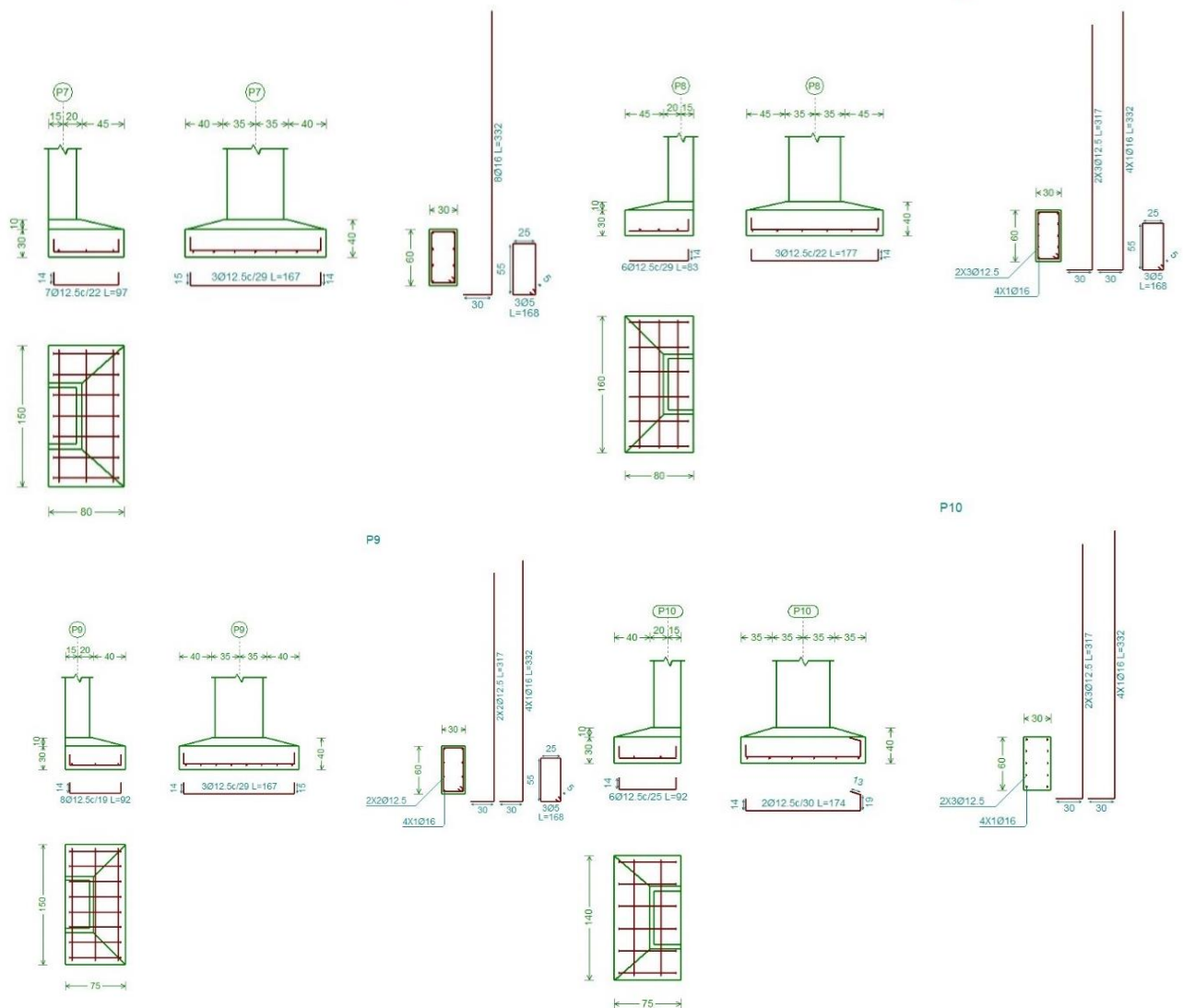
A Figura 8 e Figura 9- Detalhamento das sapatas P7/S5, P8/S6, P9/S7 e /P10/S8 mostram o detalhamento das armaduras longitudinais e transversais empregadas sapatas que se conectam com as vigas de equilíbrio, bem como o arranque dos pilares.

Figura 8-Detalhamento das sapatas P1/S1, P3/S2, P4/S3 e P6/S4



Fonte: Autor (2022)

P7



P8

P10

p9

Fonte: Autor (2022)

Quadro 8- Dimensão e disposição das armaduras das vigas de equilíbrio V1 e V2

Vigas	Vinculação	Geometria das Vigas (cm)			Vigas (m³)	Armadura
		L	B	H		
V1	P1 → P3	365	40	50	0,73	Superior: 4Ø16 CA-50 Inferior: 3Ø12.5 CA-50 Pele: 1x2Ø12.5 CA-50 Estribos: 1xØ8 CA-50c/20
V2	P4 → P6	345	40	60	0,828	Superior: 4Ø20 CA-50 Inferior: 3Ø12.5 CA-50 Pele: 1x2Ø12.5 CA-50 Estribos: 1xØ8 CA-50c/20

Pública

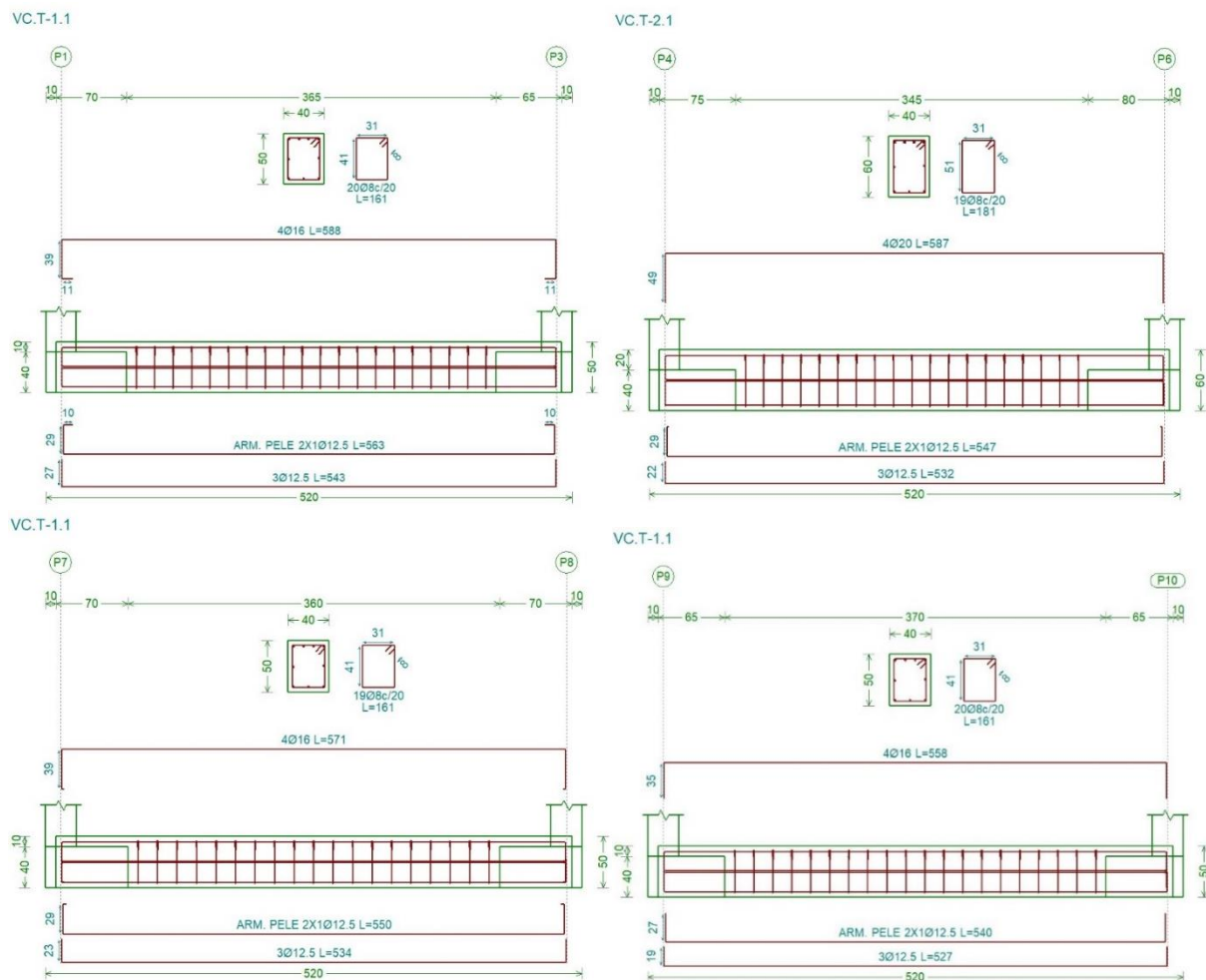
Quadro 9- Dimensão e disposição das armaduras das vigas de equilíbrio V3 e V4

Vigas	Vinculação	Geometria das Vigas (cm)			Vigas (m³)	Armadura
		L	B	H		
V3	P7 → P8	360	40	50	0,72	Superior: 4Ø16 CA-50 Inferior: 3Ø12.5 CA-50 Pele: 1x2Ø12.5 CA-50 Estribos: 1xØ8 CA-50c/20
V4	P9 → P10	370	40	50	0,74	Superior: 4Ø16 CA-50 Inferior: 3Ø12.5 CA-50 Pele: 1x2Ø12.5 CA-50 Estribos: 1xØ8 CA-50c/20

Fonte: Autor (2022)

A Figura 10 mostra o detalhamento das armaduras longitudinais e transversais empregadas nas vigas de equilíbrio que se conectam com as sapatas, bem como o arranque dos pilares.

Figura 10-Detalhamento das vigas de equilíbrio V1, V2, V3 e V4



Fonte: Autor (2022)

Os resultados obtidos para cada sapata e viga de equilíbrio podem ser vistos no Quadro 10 e Quadro 11, respectivamente. Estes quadros incluem os totais de armadura de aço CA-50 e CA-60 (considerando as perdas de aço motivado por cortes), quantitativo de concreto CA25 e as áreas de fôrmas.

Quadro 10- Resumo das armaduras, concreto e fôrmas empregadas nas sapatas

Sapata	CA-50 (kg)				CA-60 (kg)	Concreto (m³)		Fôrmas (m²)
	Ø10	Ø12.5	Ø16	Total	Ø5	C25	Limpeza	
S1		31,63	23,06	54,69	0,86	0,43	0,06	1,68
S2	3,28	7,80	57,65	68,73	0,87	0,40	0,06	1,64
S3	7,36	6,52	46,13	60,01	0,86	0,51	0,07	1,88
S4	-	34,97	23,05	58,02	0,87	0,54	0,08	1,92
S5	-	12,51	46,12	58,63	0,87	0,43	0,06	1,68
S6	-	31,05	23,06	54,11	0,87	0,45	0,06	1,76
S7	-	26,54	23,06	49,60	0,87	0,40	0,06	1,64
S8	-	26,69	23,06	52,75	-	0,38	0,05	1,56
Total	10,64	180,71	265,19	456,54	6,07	3,53	0,50	13,76

Fonte: Autor (2022)

Quadro 11- Resumo das armaduras, concreto e fôrmas empregadas nas vigas de equilíbrio

Vigas	CA-50 (kg)					Concreto (m³)		Fôrmas (m²)
	Ø8	Ø12.5	Ø16	Ø20	Total	C25	Limpeza	
V1 (S1 → S2)	13,98	29,19	40,85	-	84,02	0,78	0,07	3,92
V2 (S3 → S4)	14,94	28,50	-	63,70	107,14	0,95	0,07	4,75
V3 (S5 → S6)	13,29	28,63	39,67	-	81,59	0,78	0,07	3,96
V4 (S7 → S8)	13,98	28,19	38,77	-	80,94	0,79	0,07	3,96
Total	56,19	114,51	119,29	63,70	353,69	3,30	0,28	16,50

Fonte: Autor (2022)

Visando facilitar a montagem e escoramento das fôrmas, considerou-se a necessidade de escavação de 50 cm de solo ao redor dos elementos de fundação. Os volumes calculados para escavação das sapatas e das vigas de equilíbrio estão presentes no Quadro 12.

Quadro 12- Volumes escavados para as sapatas e vigas de equilíbrio

Pilares/Sapatas	Sapatas (cm)		Seção de escavação (cm)		Volume escavado (m³)
	x	y	x+50	y+50	
P1/S1	80	150	130	200	5,2
P3/S2	75	150	125	200	5,0
P4/S3	85	170	135	220	5,9
P6/S4	90	170	140	220	6,16
P7/S5	80	150	130	200	5,2
P8/S6	80	160	130	210	5,46
P9/S7	75	150	125	200	5,00
P10/S8	75	140	125	190	4,75
Total					42,71
Vigas de Equilíbrio	Vigas (cm)			Seção de escavação (cm)	Volume escavado (m³)
	L	B	H	Largura (B+50)	
V1	365	40	50	90	6,57
V2	345	40	60	90	6,21
V3	360	40	50	90	6,48
V4	370	40	50	90	6,66
Total					25,92
VOLUMES TOTAIS					68,63

Fonte: Autor (2022)

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO

Considerando que o presente estudo se propôs a comparar tecnicamente e economicamente o consumo de materiais (aço, concreto e forma) e estimar o custo destes dois

tipos de solução de divisa, e que a melhor opção a ser adotada é aquela que melhor se adequa aos pilares da economia, segurança e execução, chegou-se as devidas análises.

Sendo assim, pôde-se observar que os resultados obtidos para as sapatas isoladas na divisa do terreno quanto ao volume de escavação (+87%), fôrmas (+132%), aço (+300%) e concreto (+357%) foram superiores aos resultados obtidos pelas sapatas com uso das vigas de equilíbrio.

Esta superioridade se dá pelo fato de que os pilares se limitaram junto às divisas do terreno. Essa limitação implica em geração de excentricidade entre o ponto de aplicação de carga do pilar (N) e o centro geométrico da sapata, provocando maior necessidade de haver sapatas com maior área de contato com o solo para a devida distribuição das cargas. Desta forma, como consequência tem-se maior emprego de escavação, fôrmas, aço e concreto, conforme Quadro 13.

Quadro 13-Resumo geral de volumes

Cenário	Elemento de fundação	Fôrmas (m ²)	Concreto (m ³)	Aço (kg)	Escavação (m ³)
Sapatas isoladas	Sapatas isoladas	70,34	34,74	3266	128,03
	Totais	70,34	34,74	3266	128,03
Sapatas com viga de equilíbrio	Sapatas isoladas	13,76	4,03	462,61	42,71
	Vigas de equilíbrio	16,50	3,58	353,69	25,92
	Totais	30,26	7,61	816,3	68,63
Variação (%)		+132	+357	+300	+87

Fonte: Autor (2022)

De forma a subsidiar uma análise coerente quanto aos custos envolvidos nas etapas de execução da escavação das valas; fabricação, montagem de fôrmas; armação das armaduras; concretagem de sapatas e vigas de equilíbrio, determinou-se o coeficiente de produtividade e o preço mediano do material baseando-se na Composição de Preços para Orçamentos fornecidos pelo Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) da Caixa Econômica Federal, do estado da Paraíba com data de referência técnica 14/04/2022. Através desse sistema obteve-se previsões de preços próximos à realidade de cada processo executivo. Para o cálculo do tempo de execução de cada etapa foi considerado a jornada de trabalho de 8 horas diárias de todas classes colaboradoras.

O tempo de execução e o custo do principal material a ser utilizado na fabricação, montagem das fôrmas para sapatas e vigas de equilíbrio é exibido no Quadro 14. O Material adotado foi a tabua aparelhada 2,5x15 cm, em maçaranduba, angelim ou equivalente.

Quadro 14-Fabricação, montagem de fôrma para sapata, em madeira serrada

Produtividade	Descrição	Recursos humanos	Coeficiente (h/m ²)	Totais (h/m ²)	
	Ajudante de carpinteiro	2	1,407	2,814	
	Carpinteiro de formas	2	4,371	8,742	
Total (h/m²)				11,556	
Cenário	Área (m ²)	Execução (horas)	Execução (dias)	Preço do Material (R\$)	Preço Total (R\$)
Sapata isolada	70,34	6	0,75	102,75	7.227,43
Sapata e viga de equilíbrio	30,26	2,5	0,3	102,75	3.109,21

Fonte: Autor (2022)

O tempo de execução e o custo do principal material a ser utilizado na concretagem de sapatas com uso de jericá lançamento, adensamento e acabamento das sapatas e vigas de

equilíbrio é exibido no Quadro 15. O Material empregado foi o concreto usinado bombeável, classe de resistência C25, com brita 0 e 1, slump= 100 +/- 20 mm, excluindo-se o serviço de bombeamento, conforme NBR 8953 (2015).

Quadro 15-Concretagem de sapatas com uso de jélica lançamento, adensamento e acabamento.

Produtividade	Descrição	Recursos humanos	Coefficiente (h/m³)	Totais (h/m³)	
	Pedreiro	1	4,906	4,906	
	Servente	2	3,296	6,592	
Total (h/m³)				11,498	
Cenário	Volume (m³)	Execução (horas)	Execução (dias)	Preço do Material (R\$)	Preço Total (R\$)
Sapata isolada	34,74	3	0,1	349,58	12.144,40
Sapata e viga de equilíbrio	7,61	0,6	0,04	349,58	2.660,30

Fonte: Autor (2022)

Já para a armação das armaduras das sapatas e vigas de equilíbrio utilizando o aço CA-50 e CA-60 nos elementos das fundações, levou-se em consideração o custo do principal material a ser empregado nesta etapa e o tempo de execução da armação dos elementos de fundação podem ser vistos no Quadro 16 e Quadro 17, respectivamente.

Quadro 16- Aço empregados nas sapatas e vigas de equilíbrio

Cenário	Descrição	Diâmetro (kg)							Preço (R\$)
		Ø5	Ø8	Ø10	Ø12,5	Ø16	Ø20	Ø25	
Sapata isolada	Aço CA-50	-	-	-	107,55	1994,70	818,47	339,28	27.187,47
	Preço	-	-	-	7,91	7,91	9,12	9,12	
	Aço CA-60	6,09	-	-	-	-	-	-	55,11
	Preço	9,05	-	-	-	-	-	-	
	PREÇO TOTAL								27.242,59
Sapata e viga de equilíbrio	Aço CA-50	-	56,19	10,64	295,22	384,48	63,7	-	6.598,99
	Preço	-	9,69	9,13	7,91	7,91	9,12	-	
	Aço CA-60	6,07	-	-	-	-	-	-	54,93
	Preço	9,05	-	-	-	-	-	-	
	PREÇO TOTAL								6.653,92

Fonte: Autor (2022)

Quadro 17-Tempo de execução da armação dos elementos de fundação

Produtividade	Descrição	Recursos humanos	Coefficiente (h/kg)	Totais (h/kg)
	Ajudante de armador	2	0,06	0,12
	Armador	10	0,19	1,9
Total (h/kg)				1,96
Cenário	P (kg)	Execução (horas)	Execução (dias)	
Sapata isolada	3266	1.666	208	
Sapata e viga de equilíbrio	816,3	416	52	

Fonte: Autor (2022)

O tempo de execução e o custo previsto com mão de obra para a escavação manual das valas destinadas aos elementos de fundação é exibido no Quadro 18.

Quadro 18-Escavação dos elementos de fundação

Produtividade	Descrição	Recursos humanos	Coeficiente (h/m³)	Totais (h/m³)	Preço unitário (R\$)
	Pedreiro	1	1,46 h/m³	1,46	18,18
	Servente	2	4,14 h/m³	8,28	14,60
Total (h/m³)				9,74	47,38
Cenário	Volume (m³)	Execução (horas)	Execução (dias)	Preço Total (R\$)	
Sapata isolada	128,03	13	1,6	6.066,06	
Sapata e viga de equilíbrio	68,63	7	0,9	3.251,68	

Fonte: Autor (2022)

Para entender com maior clareza a diferença de valores, o Quadro 19 demonstra os custos dos elementos de fundação por processo executivo.

Quadro 19-Custos por processo

Cenário	Custos (R\$)			
	Escavação	Fôrmas	Aço	Concreto
Sapata isolada	6.066,06	7.227,43	27.242,59	12.144,40
Sapata e viga de equilíbrio	3.251,68	3.109,21	6.653,92	2.660,30
Economia	2.814,38	4.118,22	20.588,67	9.484,10
Economia Total R\$	37.005,37			

Fonte: Autor (2022)

Analisando o Quadro 19 acima, pode-se notar que há uma economia de R\$ 37.005,37 na solução com sapata com viga de equilíbrio (R\$ 16.073,65) em relação ao custo previsto para a execução de sapatas isoladas (R\$ 52.680,48), representando uma economia de 46 % na escavação, 57% na montagem de fôrmas, 75% na armação de aço e 78% na concretagem.

Além disso, comparando apenas o consumo de materiais pode-se notar que há uma redução no consumo de aço de 75% (sapata com viga de equilíbrio = 816,3 kg; sapata isolada = 3266 kg), redução no consumo de concreto de 78% (sapata com viga de equilíbrio = 7,61 m³; sapata isolada = 34,74 m³) e redução no consumo de formas de 46,4% (sapata com viga de equilíbrio = 68,63 m²; sapata isolada = 128,03 m²) da opção de sapatas com vigas de equilíbrio com relação à opção de sapatas isoladas. Pode-se notar que a maior parcela de redução de consumo comparando as duas opções se dá em função da redução do volume de concreto.

5. CONCLUSÃO

Como este trabalho objetivou-se a comparar duas soluções de fundação superficial submetidas a cargas excêntricas, sendo elas sapatas de divisa com e sem a adoção de vigas de equilíbrio, utilizando parâmetros do solo para os cálculos e dimensionamentos obtidos, essa comparação se deu através do auxílio do *software CypeCAD*, haja visto que foi possível detalhar os elementos de cada tipo de fundação estudado, identificando com precisão as dimensões, a área de aço e fôrmas, volume de concreto e o volume do solo escavado, permitindo então quantificar os principais materiais considerados para sua execução.

O principal critério considerado foi a quantidade de material utilizado nos elementos de fundação. Essas informações foram extraídas de relatórios gerados pelo *software CypeCAD*, as quais compuseram quadros de comparação de custos, totalizando o peso do aço por bitolas e resistência característica, bem como o volume de concreto e a área de fôrmas utilizadas.

Através dos dados disponibilizados pelo SINAPI, foi possível calcular o custo total dos elementos de fundação, resultando em R\$ 52.680,48 para a solução com sapatas na divisa e de R\$ 15.675,11 na solução com vigas de equilíbrio.

Desta comparação pode-se perceber que a diferença entre o valor dos dois tipos de fundação é de R\$ 37.005,37. Sendo este, um valor expressivo que poderá subsidiar uma tomada de decisão sobre qual elemento de fundação será utilizado.

Desta forma, considerando os resultados obtidos neste estudo, conclui-se que para este projeto específico de pequeno porte, com tensão admissível do solo de 2,60 kgf/cm², profundidade de 2m para assentamentos dos elementos de fundação, C25 para toda a estrutura global, a solução de sapatas com vigas de equilíbrio resultou num dimensionamento mais econômico para uma edificação com características que se assemelham a esta do presente estudo.

Cabe ressaltar que cada projeto tem suas peculiaridades, e que é função do engenheiro avaliar de acordo com a concepção estrutural do projeto, qual solução de divisa é mais adequada à estrutura levando em consideração a segurança, a economia e a execução que a estrutura deve ter.

Como sugestão a análise dessas soluções em obras de maior porte, as quais exigem fundações que suportem cargas muito superiores quando comparado às de obras pequenas como a que foi apresentada neste trabalho.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484**. Solo - Sondagens de Simples Reconhecimento com SPT. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2001.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8036**: Programação de sondagens de Simples Reconhecimento dos Solos para Fundações de Edifícios. Rio de Janeiro, 1983.

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

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

ANDOLFATO, Rodrigo Piernas. **Controle tecnológico básico do concreto**. Ilha Solteira, 2002.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Sapatas de fundação**. Bauru, jun. 2019. Disponível em: <https://www.feb.unesp.br/pbastos/concreto3/Sapatas.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2020.

BERBERIAN, J. **Engenharia de Fundações**. 2º. ed. Brasília: INFRASOLOS, 2015.

COUTO, José Antônio Santos et al. O concreto como material de construção. **Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-SERGIPE**, v. 1, n. 3, p. 49-58, 2013.

CORREIA, MIGUEL FELIPE RODRIGUES; ABRANTE, PATRICK LIMA; SILVA, FSD. Viabilidade do uso de sensor higrômetro de arduino para correção da dosagem de concreto. In: **VII Congresso Técnico-Científico da Engenharia e da Agronomia**. sn, 2021. p. 20. Disponível em: <https://www.confea.org.br/midias/uploads-imce/Contecc2021/Civil/VIABILIDADE%20DO%20USO%20DE%20SENSOR%20HIGR%C3%94METRO%20DE%20ARDUINO%20PARA%20CORRE%C3%87%C3%83O%20DA%20DOSAGEM%20DE%20CONCRETO.pdf>. Acesso: 05/05/2022.