

**FACULDADE DOCTUM  
ANDRÉ FILIPE FINAMORE DE CARVALHO  
GABRIEL DORNELLAS FALCONI**

**INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA  
COMPARATIVO ENTRE APOIO ELÁSTICO E APOIO RÍGIDO EM FUNDAÇÕES  
SUPERFICIAIS DIRETAS**

Juiz de Fora  
2018

**ANDRÉ FILIPE FINAMORE CARVALHO  
GABRIEL DORNELLAS FALCONI**

**INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA:  
COMPARATIVO ENTRE APOIO ELÁSTICO E APOIO RÍGIDO EM FUNDAÇÕES  
SUPERFICIAIS DIRETAS**

Monografia de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil, Faculdade Doctum de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Wellington Coutinho da Silva.

Juiz de Fora  
2018

Carvalho, André Filipe Finamore.

Interação solo-estrutura: Comparativo entre apoio elástico e apoio rígido em fundações superficiais diretas / André Filipe Finamore Carvalho. Gabriel Dornellas Falconi - 2018.

89 folhas.

Monografia (Curso de Engenharia Civil) –  
Faculdade Doctum Juiz de Fora.

1. Interação solo-estrutura. 2. Apoio elástico  
I. Interação solo-estrutura: Comparativo entre apoio elástico e apoio rígido em fundações superficiais diretas.  
II. Faculdade Doctum Juiz de Fora

**ANDRÉ FILIPE FINAMORE CARVALHO  
GABRIEL DORNELLAS FALCONI**

**INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA:  
COMPARATIVO ENTRE APOIO ELÁSTICO E APOIO RÍGIDO EM FUNDAÇÕES  
SUPERFICIAIS DIRETAS**

Monografia de Conclusão de Curso submetida à Faculdade Doctum de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil e aprovada pela seguinte banca examinadora.

---

Prof. Me. Wellington Coutinho da Silva  
Orientador e Docente da Faculdade Doctum - Unidade Juiz de Fora

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Daniela Silva Santurio  
Docente da Faculdade Doctum - Unidade Juiz de Fora

---

Prof. Msc. Carlos Eduardo Meurer  
Docente da Faculdade Doctum - Unidade Juiz de Fora

Examinada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradecemos a Deus, que nos deu saúde, disposição, força e sabedoria para a realização dessa pesquisa.

Também agradecemos ao nosso orientador, Me. Wellington Coutinho da Silva, pela dedicação, atenção, apoio e prontidão para nos auxiliar no desenvolvimento do trabalho. Sem seu auxílio e orientação não seria possível concluir a pesquisa.

Aos nossos pais, pelo incentivo e por entenderem os momentos de ausência pelo tempo dedicado aos estudos.

À DocWay Empresa Júnior, que nos proporcionou enorme experiência prática e conhecimento, que foram essenciais para o desenvolvimento da pesquisa.

Por fim, gostaríamos de agradecer aos amigos sinceros da faculdade, pela troca de conhecimento e ajuda em momentos difíceis.

## RESUMO

CARVALHO, André Filipe Finamore e FALCONI, Gabriel Dornellas. **Interação solo-estrutura: Comparativo entre apoio elástico e apoio rígido em fundações superficiais diretas**. 89f. Monografia de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Faculdade Doctum, Juiz de Fora, 2018.

A interação solo-estrutura considerando os apoios de forma elástica tem sido bem empregada no meio científico e eventualmente no meio prático, e pode ser a solução para uma otimização de insumos na construção civil com a garantia de dimensionamentos mais confiáveis e até com menores custos. Ao invés disso, no dimensionamento real são utilizados métodos que consideram os apoios de forma rígida. Tal método resulta em um dimensionamento não tão preciso quanto a consideração do apoio elástico, e isso pode levar a gastos maiores com material e mão de obra na construção. Através desse fato, o presente trabalho irá analisar e comparar ambos tipos de apoios em edificação unifamiliar e multifamiliar, utilizando fundação superficial direta sobre solo argiloso, de tal forma que seja apresentado a eficiência da estrutura no que tange à gasto de materiais e complexidade de dimensionamento.

**Palavras-chave:** Interação solo-estrutura. Apoio elástico. Apoio rígido. Fundação superficial direta.

## **ABSTRACT**

The soil-structure interaction considering elastic supports has been well used on scientific field and eventually on practical field, and can be the solution for an optimization of inputs in construction with the assurance of more reliable and even lower costing. Instead on actual dimensioning are used methods that consider rigid forms of support. That method results on dimensioning not quite as precise as regarding elastic structures which could lead to more costs on material and manpower on the building. Through that point, the current paper will analyze and compare both support types in single family and multiple family housing, utilizing shallow foundation on clay soil, in a way to present the structure efficiency concerning to material costs and dimension complexity.

**Keywords: Soil-structure interaction. Elastic support. Rigid support. Shallow foundation.**

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Pórtico com apoio elástico rotacional.....	18
Figura 2 - Representação de fundações de seis estacas, duas estacas e sapata. ....	21
Figura 3 - Bulbo de tensões e Índice de resistência à penetração .....	24
Figura 4 - Relatório de sondagem SPT – Solo 1 .....	29
Figura 5 - Relatório de sondagem SPT – Solo 2 .....	29
Figura 6 - Planta baixa da residência unifamiliar. ....	30
Figura 7 - Planta baixa do pavimento tipo da edificação multifamiliar. ....	31
Figura 8 - Planta baixa da unidade multifamiliar.....	32
Figura 9 - Bulbo de tensões do Solo 1 – Unifamiliar .....	34
Figura 10 - Bulbo de tensões do Solo 2 – Unifamiliar .....	35
Figura 11 - Croqui do baldrame – Unifamiliar.....	36
Figura 12 - Croqui do pavimento térreo – Unifamiliar .....	36
Figura 13 - Dimensões da fundação em corte.....	38
Figura 14 - Dimensões da fundação em planta.....	39
Figura 15 - Bulbo de tensões e SPT do Solo 1 – Multifamiliar .....	46
Figura 16 - Bulbo de tensões e SPT do Solo 2 – Multifamiliar .....	47
Figura 17 - Croqui do baldrame – Multifamiliar.....	48
Figura 18 - Croqui do pavimento tipo – Multifamiliar .....	49
Figura 19 - Croqui do quarto pavimento – Multifamiliar.....	49



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais tipos de apoios de corpo rígido.....	17
Quadro 2 - Principais tipos de apoio de corpo elástico linear.....	19

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Peso específico de solos argilosos de acordo com o $N_{SPT}$ .....	25
Tabela 2 - Correlação empírica entre $k_v$ e pressão admissível do solo.....	25
Tabela 3 - Pilares – Unifamiliar apoio rígido Solo 1.....	37
Tabela 4 - Fundações - Unifamiliar apoio rígido Solo 1.....	38
Tabela 5 - Coeficientes elásticos das fundações – Unifamiliar Solo 1 .....	40
Tabela 6 - Pilares – Unifamiliar apoio elástico Solo 1 .....	41
Tabela 7 - Fundações - Unifamiliar apoio elástico Solo 1 .....	41
Tabela 8 - Pilares - Unifamiliar apoio rígido Solo 2 .....	42
Tabela 9 - Fundações - Unifamiliar apoio rígido Solo 2.....	43
Tabela 10 - Coeficientes elásticos das fundações – Unifamiliar Solo 2 .....	43
Tabela 11 - Pilares – Unifamiliar apoio elástico Solo 2 .....	44
Tabela 12 - Fundações – Unifamiliar apoio elástico Solo 2.....	45
Tabela 13 - Pilares - Multifamiliar apoio rígido Solo 1 .....	50
Tabela 14 - Fundações - Multifamiliar apoio rígido Solo 1 .....	53
Tabela 15 - Coeficientes elásticos das fundações – Multifamiliar Solo 1 .....	54
Tabela 16 - Pilares – Multifamiliar apoio elástico Solo 1 .....	56
Tabela 17 - Fundações - Multifamiliar apoio elástico Solo 1 .....	60
Tabela 18 - Pilares – Multifamiliar apoio rígido Solo 2 .....	61
Tabela 19 - Fundações - Multifamiliar apoio rígido Solo 2 .....	64
Tabela 20 - Coeficientes elásticos das fundações – Multifamiliar Solo 2 .....	65
Tabela 21 - Pilares – Multifamiliar apoio elástico Solo 2 .....	67
Tabela 22 - Fundações - Multifamiliar apoio elástico Solo 2 .....	71
Tabela 23 - Preço unitário dos materiais/serviços quantificados.....	72
Tabela 24 - Quantitativo de materiais – Unifamiliar apoio rígido Solo 1 .....	73
Tabela 25 - Quantitativo de materiais – Unifamiliar apoio elástico Solo 1 .....	74
Tabela 26 - Quantitativo de materiais – Unifamiliar apoio rígido Solo 2 .....	75
Tabela 27 - Quantitativo de materiais – Unifamiliar apoio elástico Solo 2.....	76
Tabela 28 - Comparativo de custos – Unifamiliar.....	77
Tabela 29 - Quantitativo de materiais – Multifamiliar apoio rígido Solo 1 .....	78
Tabela 30 - Quantitativo de materiais – Multifamiliar apoio elástico Solo 1 .....	80
Tabela 31 - Quantitativo de materiais – Multifamiliar apoio rígido Solo 2.....	81
Tabela 32 - Quantitativo de materiais – Multifamiliar apoio elástico Solo 2.....	83

Tabela 33 - Multifamiliar – Comparativo de custos.....	84
--	----

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
<b>1.1</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>13</b>
1.1.1	Objetivo Geral	13
1.1.2	Objetivos Específicos	14
<b>1.2</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>14</b>
<b>1.3</b>	<b>JUSTIFICATIVA</b>	<b>14</b>
<b>1.4</b>	<b>DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>APOIOS DE CORPOS ELÁSTICOS E DE CORPOS RÍGIDOS</b>	<b>16</b>
<b>2.1</b>	<b>APOIOS</b>	<b>16</b>
2.1.1	Apoio de corpo rígido	16
2.1.2	Apoio de corpo elástico	17
<b>2.2</b>	<b>APLICAÇÃO DE APOIOS EM FUNDAÇÕES</b>	<b>20</b>
<b>2.3</b>	<b>DEFINIÇÃO DE MÉTODOS</b>	<b>21</b>
2.3.1	Modelo Convencional	21
2.3.2	Interação Solo-Estrutura	22
<b>2.4</b>	<b>CONSIDERAÇÕES PARA DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURA ATRAVÉS DO SOFTWARE EBERICK</b>	<b>23</b>
2.4.1	Tensão admissível do solo	23
2.4.2	Coeficientes de mola em apoio elástico de fundação	25
<b>3</b>	<b>APRESENTAÇÃO DOS PROJETOS</b>	<b>28</b>
<b>3.1</b>	<b>UNIFAMILIAR</b>	<b>30</b>
<b>3.2</b>	<b>MULTIFAMILIAR</b>	<b>31</b>
<b>4</b>	<b>DIMENSIONAMENTO DAS ESTRUTURAS</b>	<b>33</b>
<b>4.1</b>	<b>UNIFAMILIAR</b>	<b>33</b>
4.1.1	Método Convencional – Solo 1	37
4.1.2	Interação Solo-Estrutura – Solo 1	39
4.1.3	Método Convencional – Solo 2	42
4.1.4	Interação Solo-Estrutura – Solo 2	43
<b>4.2</b>	<b>MULTIFAMILIAR</b>	<b>45</b>
4.2.1	Método Convencional – Solo 1	50
4.2.2	Interação Solo-Estrutura – Solo 1	54
4.2.3	Método Convencional – Solo 2	61

4.2.4	Interação Solo-Estrutura – Solo 2.....	65
<b>5</b>	<b>ANÁLISE DE RESULTADOS .....</b>	<b>72</b>
<b>5.1</b>	<b>UNIFAMILIAR .....</b>	<b>72</b>
<b>5.2</b>	<b>MULTIFAMILIAR.....</b>	<b>78</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>86</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>87</b>

# 1 INTRODUÇÃO

No método convencional de cálculo de estruturas e fundações os apoios são considerados de forma rígida, de uma forma geral, sendo representados por rótulas ou engastes. Apesar desse método não remeter fielmente à realidade, ele é o principal abordado no meio profissional, e também na graduação, por considerar cálculos não tão complexos e que seja possível sua realização manual.

Após a evolução da tecnologia, e com a chegada dos microcomputadores, se tornou possível o dimensionamento das estruturas e fundações através de apoios elásticos, que consideram coeficientes de deformabilidade do solo, nos quais resultam em esforços resultantes mais fiáveis.

Segundo Iwamoto (2000) apud Aoki; Cintra (1996) o estudo da interação solo-estrutura requer que consideramos os sistemas estruturais (fundação) e geotécnicos (solo) como um só sistema. Sendo o maciço do solo um conjunto mensurável de elementos distribuídos continuamente por todo o terreno e estrutura.

Portanto, é de nosso conhecimento que o solo tem suas deformações, no qual promovem a ocorrência de fluxos de carregamento diferentes da ideia de apoios rígidos. Tais fluxos deveriam ser levados em conta no dimensionamento dos elementos estruturais de uma edificação. Desse modo, é notório que a hipótese de vínculos indeslocáveis pode conduzir a um caminho totalmente diferente da realidade física.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

O presente projeto tem como objetivo comparar a utilização de apoio elástico em relação ao apoio rígido para cálculo de fundações sobre dois solos argilosos de diferentes resistências. Têm-se como meta traçar as diferenças entre o dimensionamento das estruturas, levando em consideração o gasto de material, tais como concreto e aço, a fim de verificar qual método é o mais vantajoso, levando em consideração a resistência do solo.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

Realizar o dimensionamento estrutural de uma moradia unifamiliar e uma multifamiliar a ser confeccionado através do método de apoio rígido e o método de interação solo estrutura, que considera os apoios de forma elástica, considerando dois solos de diferentes resistências;

Realizar um confronto entre apoio rígido e apoio elástico para a moradia unifamiliar e a multifamiliar nos dois solos.

## 1.2 METODOLOGIA

Para o presente trabalho foi realizado um estudo bibliográfico sobre o tema abordado. Segundo Severino (2007), pesquisa bibliográfica consiste na análise de documentos como livros, artigos e trabalhos de conclusão de curso/mestrado, para conseguir dados fundamentais para a realização do embasamento teórico. Foram contemplados na pesquisa, bases para dimensionamento dos casos propostos (unifamiliar e multifamiliar), no qual foi descrita uma breve apresentação do método de apoio rígido e do método de apoio elástico.

Em um segundo momento foram testados os dados coletados com o auxílio do software Eberick V8, fornecido pela AltoQI, para corroborar as afirmações do presente trabalho. Posteriormente são apresentados os cálculos e dimensionamento dos elementos estruturais da moradia unifamiliar e multifamiliar, utilizando os dois métodos. Os cálculos são realizados admitindo dois solos de diferentes resistências, que serão utilizados como dados de entrada no programa para obtenção dos resultados de dimensionamento das hipóteses (unifamiliar e multifamiliar).

Em posse dos dados obtidos através do experimento citado, são apresentados os resultados do comparativo dos casos propostos.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

Com crescente demanda de otimização de gastos em obras, a interação solo-estrutura é apresentada como um método que tem o intuito de redução de gastos com materiais e resultados mais fiáveis no dimensionamento das estruturas. Então,

considerando o maciço do solo e a infraestrutura como um só e respeitando o deslocamento de ambos, é garantida uma redução de custos de forma segura.

Apesar do grande desenvolvimento da tecnologia, ainda temos a utilização de métodos tradicionais no dimensionamento de estruturas. Na maioria dos casos é utilizado o método de apoio rígido, o que não reflete a realidade se levarmos em consideração a interação desses apoios com o solo.

Devido ao fato, procura-se entender o porquê da pouca utilização dos métodos mais modernos e realistas em comparação aos métodos clássicos. É de grande relevância uma pesquisa que aborda um teste de hipóteses e uma comparação de resultados, a fim de buscar valores exatos da eficiência de um método em relação ao outro e mostrar um comparativo de suas complexidades.

Nesse sentido, Colares (2006) afirma:

Convencionalmente, o engenheiro estrutural admite que os apoios da superestrutura sejam engastados na base. A suposição de que o sistema de fundação apresenta comportamento rígido e indeslocável não condiz com a realidade geotécnica. Sob tal hipótese, o projetista calcula e fornece ao engenheiro de fundação as forças, provenientes da superestrutura, que serão transmitidas aos elementos estruturais de fundação que, por sua vez, repassa às camadas de solo que os envolve e serve de base.

## **1.4 DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS**

No capítulo 1 foi apresentado uma breve introdução sobre o que é a interação solo-estrutura, os objetivos, a justificativa e a metodologia.

No capítulo 2 foi relatado a definição de apoios, fundações e os métodos utilizados no trabalho de acordo com a pesquisa bibliográfica.

No capítulo 3 foram descritos os projetos unifamiliar e multifamiliar e os dois tipos de solos argilosos, aos quais foram calculados para a obtenção dos dados.

No capítulo 4 foram dimensionados os projetos apresentados no capítulo 3.

No capítulo 5 foi analisado e comparado os resultados obtidos no capítulo anterior.

No capítulo 6 foi concluído o trabalho com as considerações finais dos autores sobre os resultados e comparações obtidas.



## 2 APOIOS DE CORPOS ELÁSTICOS E DE CORPOS RÍGIDOS

Neste tópico será comentado definições sobre os apoios que introduzem o tema do trabalho. Será abordado brevemente sobre o que é o modelo convencional e como ele funciona e também como é o modelo que considera a interação solo-estrutura e como ele age. Além disso serão apresentados métodos de cálculo com parâmetros, que servem como dados de entrada no programa em que será realizado o cálculo das estruturas.

### 2.1 APOIOS

Os apoios são representações das ligações de um modelo estrutural na forma de condições de suporte nos pontos de contato com o meio externo, como aponta MARTHA (2010).

Ainda segundo Martha (2010), tal qual afirma a terceira lei de Newton, toda ação corresponde a uma reação de igual intensidade, mas atua no sentido oposto. Logo, as solicitações do meio externo atuam sobre a estrutura que age sobre os apoios. Assim as reações de apoio são provenientes dessa relação entre a estrutura e o meio externo, mas com sentidos opostos. Entretanto essa situação só é totalmente correta se consideramos um meio externo completamente rígido, o que nem sempre ocorre, como em uma fundação da estrutura por exemplo.

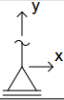



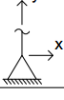
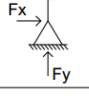
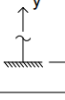
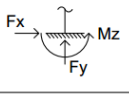
#### 2.1.1 Apoio de corpo rígido

Como afirma Sússekind (1981), de forma geral os apoios de corpos rígidos são aqueles que restringem de forma integral os deslocamentos e rotações de um corpo em uma ou mais direções. As restrições de movimento nas determinadas direções provocam as reações de apoio, que tem como principal função combater as forças externas garantindo que o somatório de forças seja igual a zero, proporcionando total equilíbrio ao corpo.

De acordo com Martha (2010) os principais apoios de corpo rígido são o de 1º gênero, 2º gênero e 3º gênero (engaste), nos quais restringem deslocamentos em uma, duas e três direções, respectivamente. No Quadro 1 pode-se observar os três

tipos de apoios citados, e também suas principais variações de acordo com a estrutura a que se refere.

**Quadro 1 - Principais tipos de apoios de corpo rígido.**

Apoios	Simbologia	Direção da restrição do movimento	Reações de apoio
1º gênero vertical		$\Delta y = 0$	
1º gênero horizontal		$\Delta x = 0$	
2º gênero		$\Delta x = 0$ $\Delta y = 0$	
3º gênero (engaste)		$\Delta x = 0$ $\Delta y = 0$ $\theta z = 0$	

Fonte: Adaptado de Martha (2010).

As reações de apoio indicadas na quarta coluna do Quadro 1 representam a direção em que o movimento está restringido, sendo:

$F^x$  – reação força na direção do eixo X;

$F^y$  – reação força na direção do eixo X;

$M^z$  – reação momento em torno do eixo Z.

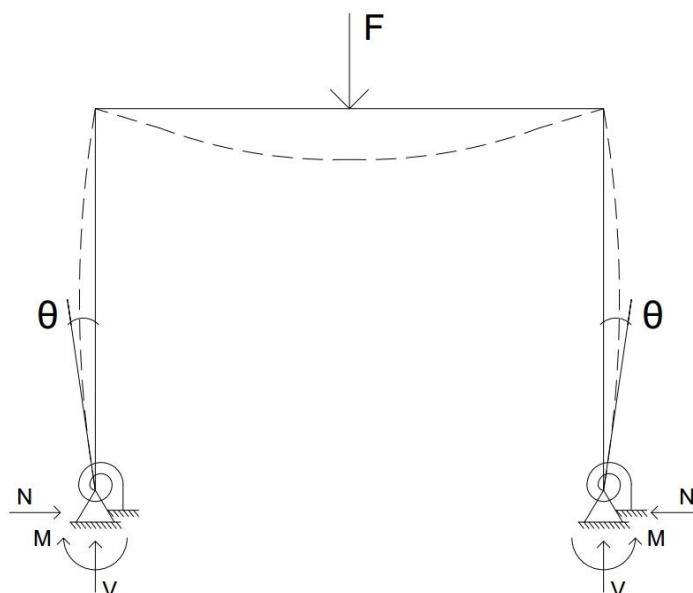
### 2.1.2 Apoio de corpo elástico

Segundo Martha (2010), apoios elásticos são aqueles que restringem parcialmente deslocamentos, rotações, e que também faz com que uma estrutura carregada retorne à sua posição original caso ocorra o alívio ou remoção desses carregamentos. Conforme mencionado no item 2.1, o apoio elástico se interpõe ao engaste e ao apoio do 2º gênero, pois o engaste possui coeficiente de rigidez infinito e rotação nula, enquanto o apoio de 2º gênero exatamente o contrário, possuindo coeficiente de rigidez nulo e rotação livre. Entre o engaste e o apoio de 2º gênero existem infinitos casos de apoios elásticos, cada qual representado por um determinado valor de coeficiente de rigidez à rotação.

Ainda segundo Martha (2010), os apoios elásticos podem ser divididos em rotacionais e translacionais.

O apoio elástico rotacional é aquele que tem a rotação liberada, porém seus deslocamentos continuam integralmente restringidos. Sua simbologia é representada por uma mola rotacional. A Figura 1 apresenta o comportamento de um apoio elástico rotacional em um pórtico quando aplicado uma força  $F$  no centro do vão. Podem-se observar as reações de apoio  $N$ ,  $V$  (reações normais),  $M$  (reação de momento) e a rotação  $\theta$  suportada pelo apoio.

Figura 1 - Pórtico com apoio elástico rotacional.

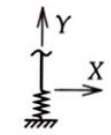
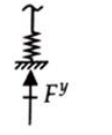
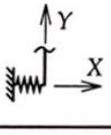
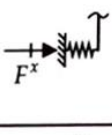
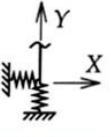
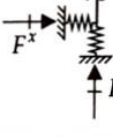
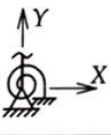
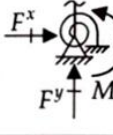
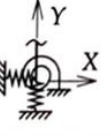
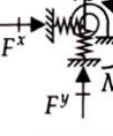
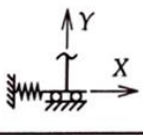
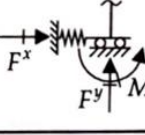


Fonte: Adaptado de MARTHA (2010).

O apoio elástico translacional proporciona uma restrição parcial da translação em relação ao ponto de apoio, também promovendo uma força de reação na mesma direção do deslocamento que foi restringido.

O Quadro 2, apresenta os principais tipos de apoios elásticos, sendo eles translacionais e/ou rotacionais, suas respectivas relações constitutivas, e também com as reações de apoio originadas deles.

Quadro 2 - Principais tipos de apoio de corpo elástico linear.

Apoio	Símbolo	Relações constitutivas	Reações de apoio
Apoio elástico translacional vertical		$F^y = -K^y \Delta^y$	
Apoio elástico translacional horizontal		$F^x = -K^x \Delta^x$	
Apoios elásticos translacionais horizontal e vertical		$F^x = -K^x \Delta^x$ $F^y = -K^y \Delta^y$	
Apoio elástico rotacional		$\Delta^x = 0$ $\Delta^y = 0$ $M^z = -K^\theta \theta^z$	
Apoios elásticos translacionais e rotacional		$F^x = -K^x \Delta^x$ $F^y = -K^y \Delta^y$ $M^z = -K^\theta \theta^z$	
Engaste deslizante com apoio elástico translacional		$F^x = -K^x \Delta^x$ $\Delta^y = 0$ $\theta^z = 0$	

Fonte: MARTHA (2010).

Considerando os apoios elásticos lineares, ou seja, com deslocamentos e rotações bem pequenos a ponto de ser aproximados de uma reta, temos as seguintes relações entre força e deslocamento:

$$F^x = -K^x \cdot \Delta^x \quad (2.1)$$

$$F^y = -K^y \cdot \Delta^y \quad (2.2)$$

$$M^z = -K^\theta \cdot \theta^z \quad (2.3)$$

Sendo:

$F^x$  – Força exercida pela reação de apoio na direção “x” (horizontal);

$F^y$  – Força exercida pela reação de apoio na direção “y” (vertical);

$M^z$  – Reação de momento na direção “z” (perpendicular ao plano X Y);

$\Delta^x$  – Deslocamento na direção horizontal;

$\Delta^y$  – Deslocamento na direção vertical;

$\theta^z$  – Rotação;

$K^x$  – Coeficiente de rigidez do apoio elástico translacional linear horizontal;

$K^y$  – Coeficiente de rigidez do apoio elástico translacional linear vertical;

$K^\theta$  – Coeficiente de rigidez do apoio elástico rotacional linear.

É importante ressaltar que nas equações (2.1), (2.2) e (2.3) os sinais negativos representam a reação de apoio, que sempre vai em direção contrária em relação à rotação e/ou deslocamento.

## 2.2 APLICAÇÃO DE APOIOS EM FUNDAÇÕES

“Fundações são elementos que têm por finalidade transmitir as cargas de uma edificação para as camadas resistentes do solo sem provocar ruptura do terreno de fundação” (PEREIRA, 2013).

A escolha do tipo de fundação a ser utilizado leva em conta alguns fatores, como mostra Rebello (2008), a primeira delas é a resistência do solo, que determina a profundidade em que a fundação deve ser colocada afim de resistir as cargas provenientes da edificação. Outra é o custo, seja em relação aos materiais utilizados na construção ou na mão de obra necessária para a mesma, além disso, é de suma importância considerar o recalque e a segurança da obra.

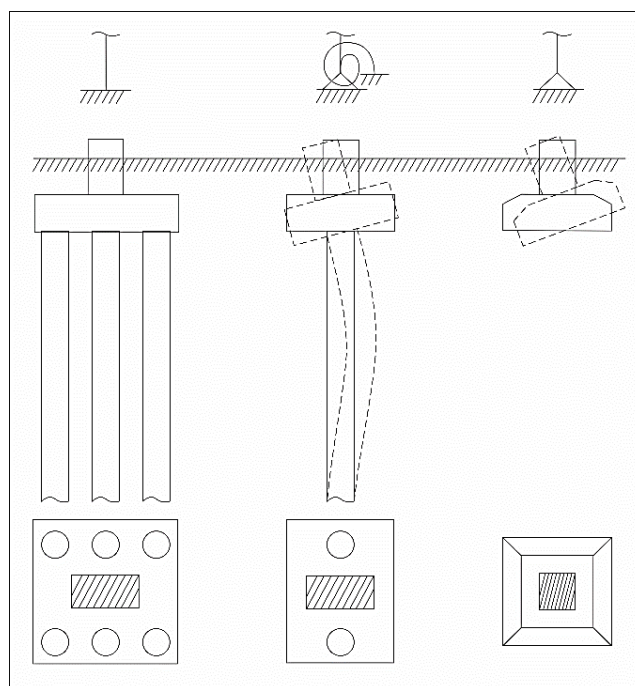
Ainda segundo Rebello (2008), as fundações profundas são necessárias quando as cargas da superestrutura a serem transmitidas ao solo demandem uma profundidade superior a dois metros, são mais caras, porém tem altas capacidades. Já as fundações rasas distribuem essas cargas na primeira camada de solo, daí seu nome, são mais acessíveis e resistem menos em relação as profundas.

Na Figura 2 observa-se que a fundação da esquerda, com um bloco com seis estacas, pode ser considerada em um modelo estrutural como um engaste, já que quase não permite movimento. Já o elemento de fundação da direita, fundação direta com uma sapata, pode ser considerada em um modelo estrutural como um apoio de segundo gênero, já que pouco restringe o giro.

Ainda na Figura 2 é apresentada a fundação do meio, com um bloco com duas estacas, que oferece uma resistência intermediária entre as duas anteriores. Em um

modelo estrutural, fundações deste tipo são representadas como um apoio elástico, por ela resistir parcialmente ao deslocamento ou a rotação.

**Figura 2 - Representação de fundações de seis estacas, duas estacas e sapata.**



Fonte: Adaptado de Martha (2010).

Apesar da representação citada na Figura 2, é importante mencionar que toda fundação pode ser dimensionada levando em consideração os diversos tipos de apoio.

## 2.3 DEFINIÇÃO DE MÉTODOS

Como tem-se o objetivo de realizar uma comparação entre o método convencional e o que leva em conta a interação solo-estrutura, nesse ponto será apresentado o que alguns autores definem ser ambos modelos. E com isso será realizada uma elucidação deste conjunto de ideias.

### 2.3.1 Modelo Convencional

Segundo Rebello (2008), este método veio sendo desenvolvido desde meados dos séculos XVII e XVIII, quando foi criada a École des Ponts et Chaussées na França,

que aprimorou os estudos das fundações da época. E das experimentações de Lambert, em 1772, com o intuito de racionalizar o projeto de fundações de sapatas e estacas.

Desde então esse modelo que considera apoios com corpos rígidos é utilizado largamente. Se trata de uma hipótese simplificada de que as fundações estão assentadas sobre vínculos indeslocáveis, que não reflete a realidade por não considerar a deformidade do solo. Esse fato se deve ao grande volume de cálculos necessários, se levado em conta as propriedades reais do solo no dimensionamento dos elementos estruturais. Cálculos impossíveis de serem exercidos manualmente, como aponta Reis e Souza (2008).

### 2.3.2 Interação Solo-Estrutura

Antoniazzi (2011) apud Meyerhof (1953), apontam que o maciço de solos poderia ser utilizado junto com a infraestrutura de modo único para estimar a contribuição da superestrutura.

Colares (2006) apud Chamecki (1956), apresentam um processo iterativo de convergência para consideração da interação solo-estrutura. Primeiro é admitida uma hipótese de apoios indeslocáveis, determinando as reações da estrutura. Em seguida calculou-se os recalques com os valores de reação da estrutura, sem considerar sua rigidez. Com uma estrutura sistematizada foi capaz de, a cada iteração, determinar as novas reações de apoio e os correspondentes valores de recalques. Todo o processo é repetido até chegar a uma tolerância desejada de convergência entre as reações de apoio e recalques. Processo esse, confirmado anos mais tarde por Júnior (1998) apud Fonte et al. (1994), que analisaram um edifício de quatorze andares e chegaram as seguintes conclusões:

- a) Com o modelo tradicional, que não considera a interação com o solo e aplicando a carga final da construção nos cálculos, os recalques tiveram uma diferença maior em relação aos diferentes pontos da fundação.
- b) Aplicando o modelo de interação solo-estrutura e considerando a carga final da edificação nos cálculos, chegaram a uma diferença significativa de recalque nos diferentes pontos, porém observaram diferenças menores que no método anterior.

- c) No último caso consideraram o método de interação solo-estrutura e as cargas sendo colocadas gradualmente da forma que são construídas na realidade e viram resultados muito próximos de recalque para os diferentes pontos da estrutura.

## **2.4 CONSIDERAÇÕES PARA DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURA ATRAVÉS DO SOFTWARE EBERICK**

### 2.4.1 Tensão admissível do solo

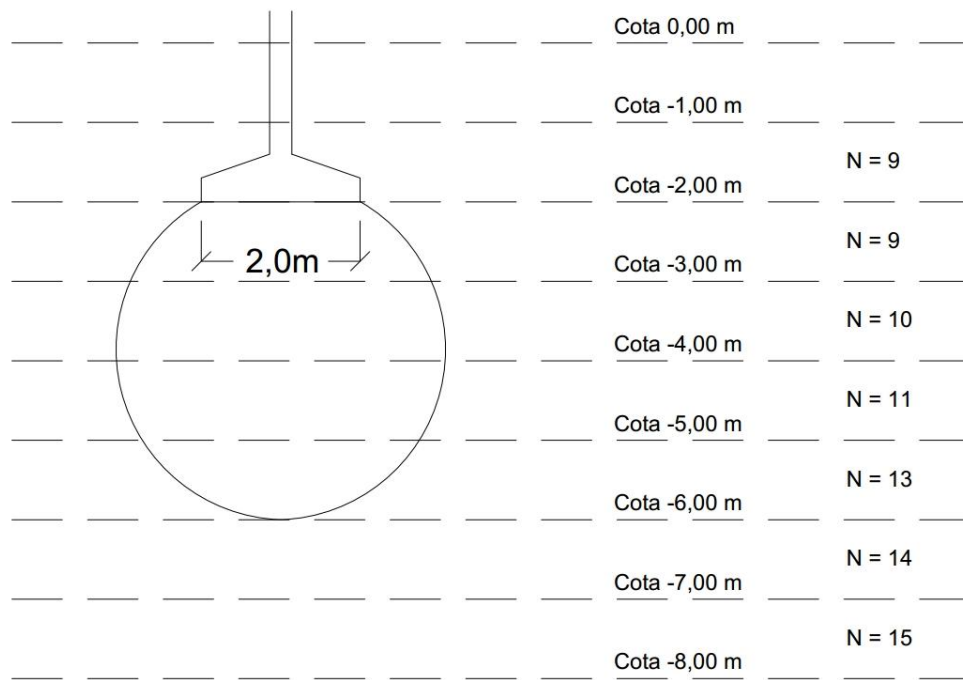
Segundo AltoQI (2018), ter conhecimento da pressão admissível do solo ( $\sigma_s$ ) é essencial para o cálculo da estrutura, visto que as dimensões da fundação estão diretamente relacionadas com seu valor. Um dos métodos para determinar essa incógnita é o ensaio de sondagem à percussão (SPT).

Em conformidade com a NBR 6484:2001 - Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de Ensaio, o ensaio SPT é um processo de reconhecimento do solo que tem como objetivo determinar o índice de resistência à penetração (N) de determinada camada, normalmente medido de metro a metro. Para obtenção desse índice, é medida a quantidade de golpes correspondentes à cravação de 30 cm de um amostrador-padrão, após cravação inicial de 15 cm, utilizando-se corda de sisal para levantamento do martelo, que também é padronizado.

Em posse do índice de resistência à penetração das camadas desejadas, é necessário a suposição da profundidade de assentamento da sapata e a obtenção do bulbo de tensões, que tem sua profundidade igual a duas vezes a menor dimensão da sapata, como indica ALTOQI (2018).



**Figura 3 - Bulbo de tensões e Índice de resistência à penetração**



Fonte: Autores (2018).

Em seguida, ainda conforme Altoqi (2018), para obtenção da resistência do solo ( $N_{SPT}$ ) a ser utilizada, é realizada a divisão do somatório do índice de resistência à penetração de cada camada do bulbo de tensões pela sua profundidade mais um metro, tal como mostra a equação (2.4) que ilustra o que ocorre na Figura 3.

$$N_{SPT} = \frac{N_{2,00m} + N_{3,00m} + N_{4,00m} + N_{5,00m} + N_{6,00m}}{5} \quad (2.4)$$

Após a obtenção do  $N_{SPT}$ , pode-se calcular a pressão admissível do solo através da equação (2.5), sendo  $\sigma_s$  em  $\text{kgf/cm}^2$ .

$$\sigma_s = \frac{N_{SPT}}{5} \quad (2.5)$$

Através da resistência do solo, também pode-se obter seu peso específico através da correlação empírica apresentada na Tabela 1.

**Tabela 1 - Peso específico de solos argilosos de acordo com o  $N_{SPT}$** 

<b>N (golpes)</b>	<b>Consistência</b>	<b>Peso específico (kN/m<sup>3</sup>)</b>
≤ 2	Muito mole	13
3 a 5	Mole	15
6 a 10	Média	17
11 a 19	Rija	19
≥ 20	Dura	21

Fonte: Notas de aula prof. Marangon (2018) apud Godoy (1972).

#### 2.4.2 Coeficientes de mola em apoio elástico de fundação

De acordo com Altoqi (2016), a interação solo-estrutura através da adoção de molas proporciona melhor avaliação e consideração da intensidade dos recalques que ocorrem nas fundações, gerando uma redistribuição dos esforços na estrutura, proporcionando assim uma avaliação mais precisa da edificação. Porém, para a simulação do apoio elástico, é necessária a adoção de coeficientes de vínculos elásticos nas fundações do projeto, que são obtidos através de tabelas, ábacos e fórmulas empíricas. Os coeficientes necessários para os cálculos são:

$k_v$  – Coeficiente de recalque;

$k_x$  – Coeficiente de mola (rigidez) horizontal na direção “x”;

$k_y$  – Coeficiente de mola (rigidez) horizontal na direção “y”;

$k_z$  – Coeficiente de mola (rigidez) à translação na direção “z”;

$k_{rx}$  – Coeficiente de mola (rigidez) à rotação (giro em torno de “x”);

$k_{ry}$  – Coeficiente de mola (rigidez) à rotação (giro em torno de “y”);

O coeficiente de recalque ( $k_v$ ) é relacionado com a pressão admissível do solo (equação 2.4) através de correlação empírica, como mostra na Tabela 1.

**Tabela 2 - Correlação empírica entre  $k_v$  e pressão admissível do solo**

<b><math>\sigma_s</math> (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b><math>K_v</math> (kgf/cm<sup>3</sup>)</b>	<b><math>\sigma_s</math> (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b><math>K_v</math> (kgf/cm<sup>3</sup>)</b>
0,25	0,65	1,65	3,37
0,30	0,78	1,70	3,46
0,35	0,91	1,75	3,55
0,40	1,04	1,80	3,64
0,45	1,17	1,85	3,73

$\sigma_s$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$K_v$ (kgf/cm <sup>3</sup> )	$\sigma_s$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$K_v$ (kgf/cm <sup>3</sup> )
0,50	1,30	1,90	3,82
0,55	1,39	1,95	3,91
0,60	1,48	2,00	4,00
0,65	1,57	2,05	4,10
0,70	1,66	2,10	4,20
0,75	1,75	2,15	4,30
0,80	1,84	2,20	4,40
0,85	1,93	2,25	4,50
0,90	2,02	2,30	4,60
0,95	2,11	2,35	4,70
1,00	2,20	2,40	4,80
1,05	2,29	2,45	4,90
1,10	2,38	2,50	5,00
1,15	2,47	2,55	5,10
1,20	2,56	2,60	5,20
1,25	2,65	2,65	5,30
1,30	2,74	2,70	5,40
1,35	2,83	2,75	5,50
1,40	2,92	2,80	5,60
1,45	3,01	2,85	5,70
1,50	3,10	2,90	5,80
1,55	3,19	2,95	5,90
1,60	3,28	3,00	6,00

Fonte: Adaptado de AltoQI (2016) apud Morrison (1993).

Tendo obtido o coeficiente de recalque ( $k_v$ ), é possível estimar os outros coeficientes, tendo conhecimento das propriedades geométricas da sapata utilizada, assim como mostra as equações 2.6, 2.7, 2.8.

$$k_z = k_v \cdot A_{\text{base,sapata}} \quad (2.6)$$

$$k_y = k_z \quad (2.7)$$

$$k_x = k_z \quad (2.8)$$

$$k_{rx} = k_v \cdot I_x \quad (2.9)$$

$$k_{ry} = k_v \cdot I_y \quad (2.10)$$

Sendo  $A_{\text{base,sapata}}$  a área da base da sapata e  $I_x$ ,  $I_y$ , as inércias da base da sapata nos seus respectivos eixos, como indica as equações 2.9, 2.10, 2.11.

$$A_{\text{base,sapata}} = b \cdot h \quad (2.11)$$

$$I_x = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (2.12)$$

$$I_y = \frac{h \cdot b^3}{12} \quad (2.13)$$

### 3 APRESENTAÇÃO DOS PROJETOS


No presente item será abordado a descrição das edificações, sendo uma unifamiliar e outra multifamiliar nas quais será realizado o dimensionamento das fundações. Os dois modelos foram desenvolvidos com base nas especificações do programa Minha Casa Minha Vida (MCMV) do Governo Federal, considerando habitações para famílias com renda de até R\$1.600,00.

Para o modelo unifamiliar, as especificações arquitetônicas da planilha do programa Minha Casa Minha Vida que são pertinentes ao presente trabalho estão relacionadas à quantidade de compartimentos presentes na edificação, área útil mínima e pé direito mínimo. Sendo 1 dormitório para casal, 1 dormitório para duas pessoas, 1 sala de estar/refeições, 1 cozinha, 1 banheiro e circulação, 1 área de serviço, contemplando área útil mínima da habitação (não contabilizando área de parede) de 36,00 m<sup>2</sup>, se a área de serviço for externa, ou 38,00 m<sup>2</sup>, se a área de serviço for interna, possuindo pé direito mínimo de 2,50 m, sendo admitido 2,30 m para o banheiro. Enquanto para a edificação multifamiliar, as especificações de compartimentos são as mesmas do unifamiliar, porém a área útil mínima deve ser de 41,00 m<sup>2</sup> (BRASIL, 2016).

Em relação aos métodos construtivos e elementos da edificação, a especificação aprovada pela Portaria N° 146 de 26 de abril de 2016, menciona que: a cobertura deve ser feita sobre laje, em telha com estrutural de madeira ou metálica; as paredes deverão ser em bloco cerâmico ou de concreto com espessura mínima de 14 cm, desconsiderando revestimentos; o revestimento deve ser em gesso, chapisco, e massa única ou em emboço e reboco; o piso deve ser assentado sobre contrapiso impermeável com espessura mínima de 3 cm.


As duas edificações propostas serão inseridas em dois solos, no qual estão detalhados e especificados nos modelos de relatório de sondagem SPT (Figuras 4 e 5). No item de dimensionamento de cada estrutura, será especificada a profundidade das fundações da estrutura, com as informações pertinentes a seu cálculo.

**Figura 4 - Relatório de sondagem SPT – Solo 1**

Nível d'água	Profundidade	Número de golpes	Descrição do solo
7,20 m 	1,00 m		ARGILA SILTOSA, COR AMARELO, CONSISTÊNCIA MÉDIA A RIJO
	2,00 m	N = 6	
	3,00 m	N = 8	
	4,00 m	N = 9	
	5,00 m	N = 9	
	6,00 m	N = 11	SILTE ARGILOSO COM AREIA FINA, COR AMARELO, RIJO
	7,00 m	N = 12	
	8,00 m	N = 14	

Fonte: Autores (2018).

**Figura 5 - Relatório de sondagem SPT – Solo 2**

Nível d'água	Profundidade	Número de golpes	Descrição do solo
7,20 m 	1,00 m		ARGILA SILTOSA, COR AMARELO, CONSISTÊNCIA MÉDIA A RIJO
	2,00 m	N = 13	
	3,00 m	N = 14	
	4,00 m	N = 15	
	5,00 m	N = 16	
	6,00 m	N = 16	SILTE ARGILOSO COM AREIA FINA, COR AMARELO, RIJO
	7,00 m	N = 16	
	8,00 m	N = 18	

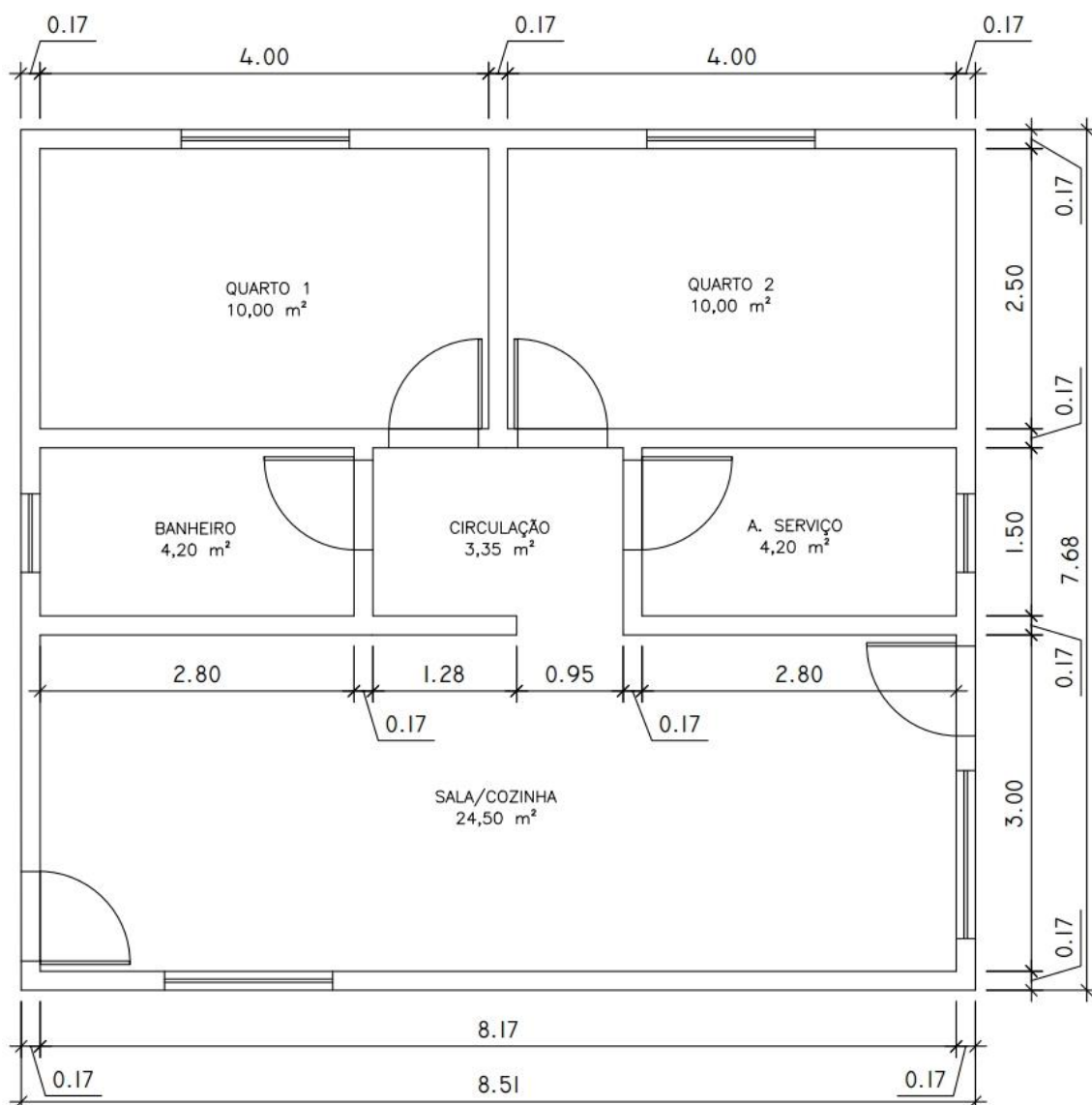
Fonte: Autores (2018).

Levando em consideração os aspectos apontados, foram elaboradas as plantas baixas do modelo unifamiliar e multifamiliar.

### 3.1 Unifamiliar

Foi elaborado uma residência unifamiliar, considerando as diretrizes apontadas pelo Programa MCMV, com a distribuição dos compartimentos e suas devidas áreas indicados na Figura 6.

Figura 6 - Planta baixa da residência unifamiliar.



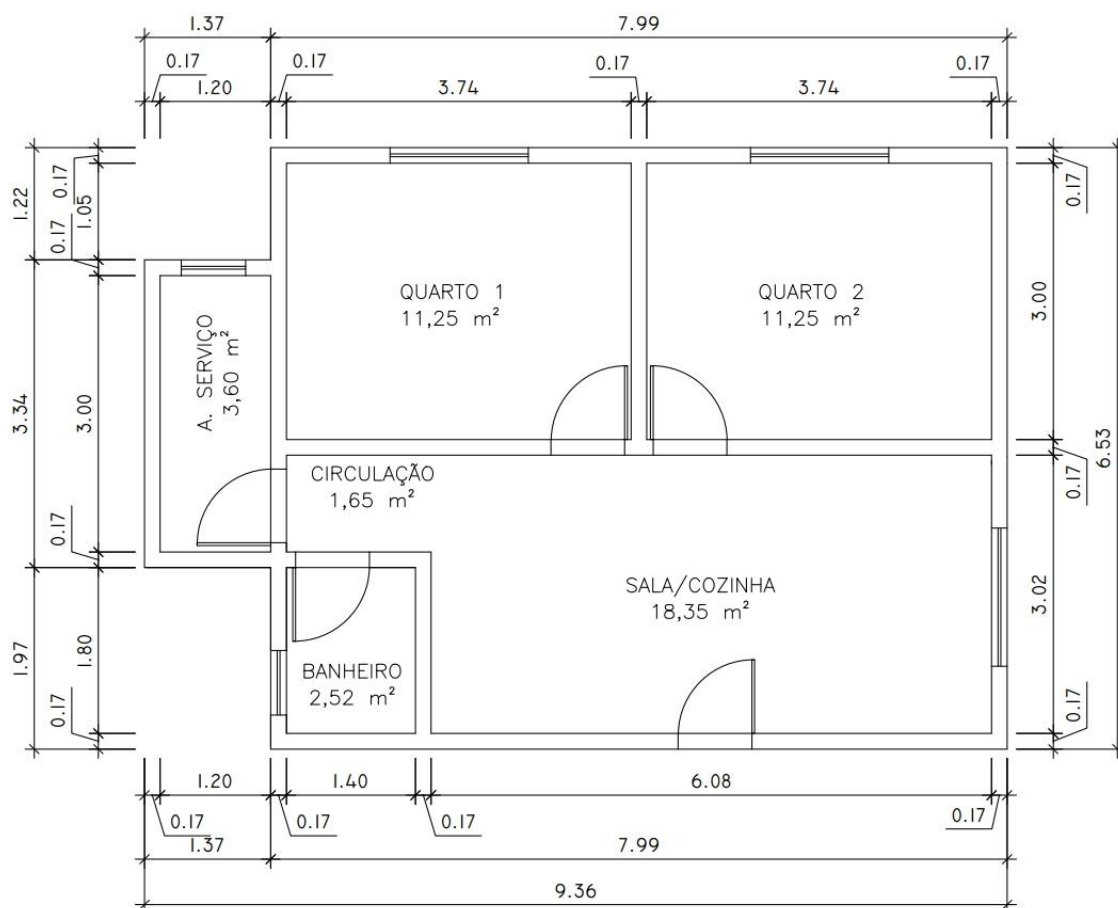
Fonte: Autores (2018).

A estrutura da residência é composta pelo modelo de laje, viga, pilar e fundação, sendo utilizado concreto armado como método construtivo. Todas as lajes da edificação são do tipo maciça, enquanto as fundações do tipo sapata isolada.

### 3.2 Multifamiliar

Levando em consideração os aspectos apontados, foi elaborada uma edificação multifamiliar de quatro pavimentos, sendo quatro unidades por andar. A Figura 7 apresenta a planta baixa do pavimento tipo da edificação, enquanto a Figura 8 indica, de forma mais detalhada, a planta baixa da unidade, que possui os mesmos compartimentos e dimensões que as outras.

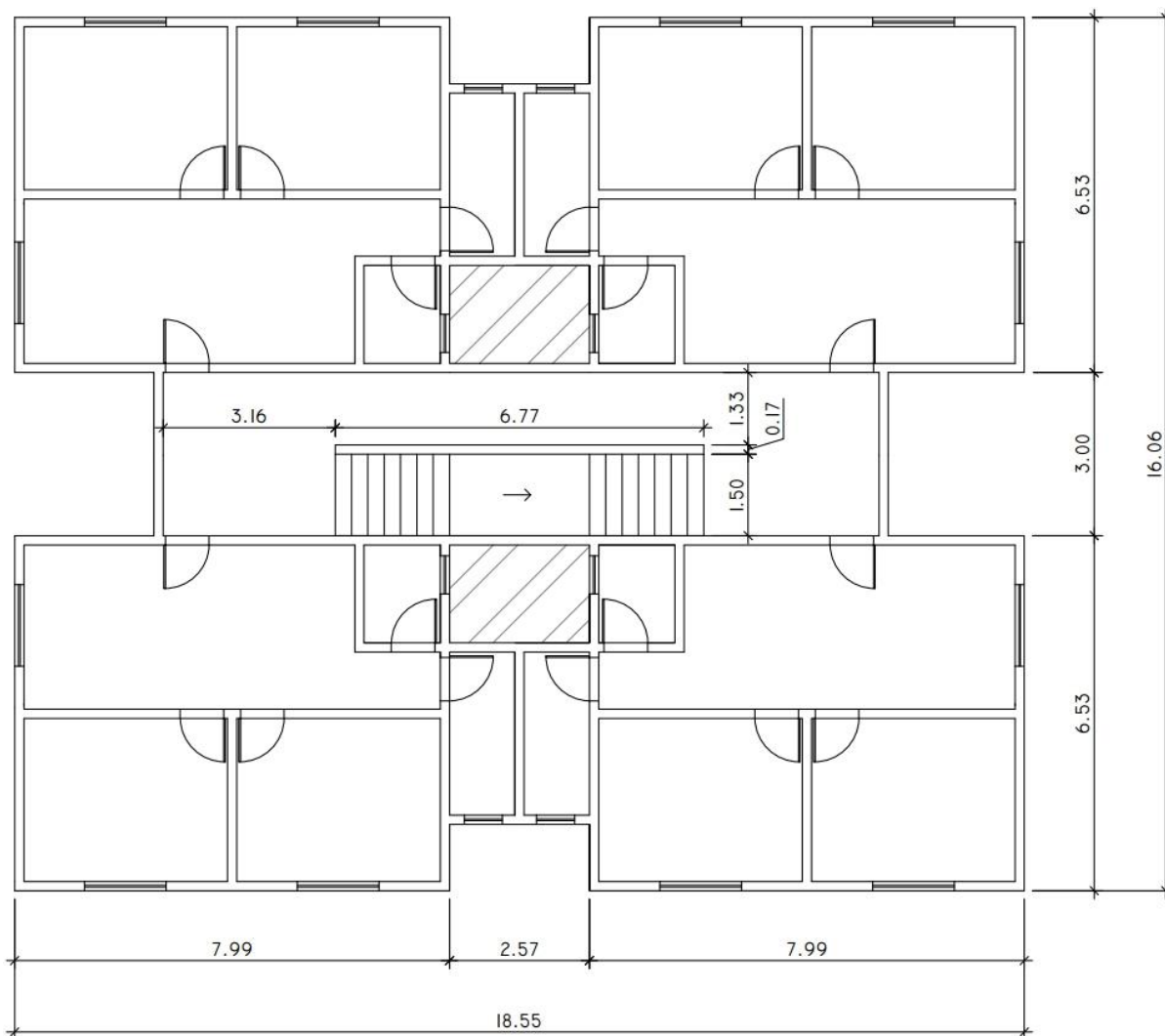
**Figura 7 - Planta baixa do pavimento tipo da edificação multifamiliar.**



Fonte: Autores (2018).



Figura 8 - Planta baixa da unidade multifamiliar.



Fonte: Autores (2018).

A estrutura do edifício multifamiliar é composta pelo modelo de laje, viga, pilar e fundação, sendo utilizado concreto armado como método construtivo. Todas as lajes da edificação são do tipo maciça, enquanto as fundações do tipo sapata isolada.

## 4 DIMENSIONAMENTO DAS ESTRUTURAS

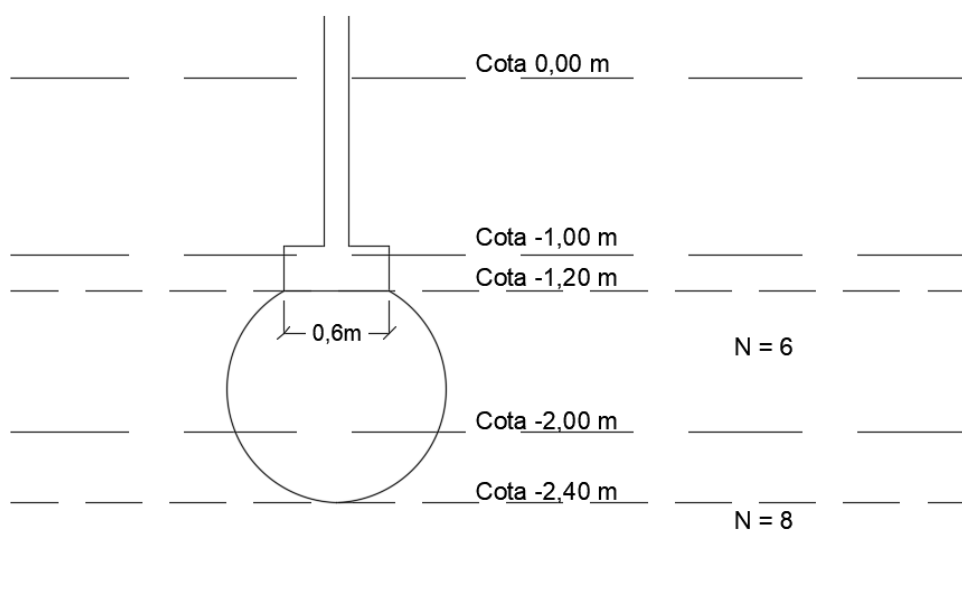
Conforme mencionado no item 1.2 do presente trabalho, para o cálculo da estrutura dos projetos apresentados nas Figuras 6, 7 e 8, foi utilizado o software Eberick V8. Os parâmetros e dados de entrada do projeto unifamiliar e multifamiliar serão os mesmos para ambos métodos de cálculo, bem como para os dois solos apresentados.

### 4.1 Unifamiliar

Os tópicos a seguir apresentam os dados de entrada pertinentes utilizados no software, sendo apresentados sua origem quando realizado alguma consulta ou cálculo para sua obtenção.

- Resistência característica do concreto à compressão:
  - 25 MPa para todos elementos estruturais, tais como lajes, vigas, pilares e fundação;
- Carga acidental nas lajes:
  - De acordo com a NBR 6120:2000 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações, a carga acidental considerada para dormitórios, salas, cozinha, banheiro é de 1,5 kN/m<sup>2</sup>, enquanto para área de serviço é de 2,0 kN/m<sup>2</sup>.
- Classe de agressividade ambiental nível II:
  - Segundo a NBR 6118:2014 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento, é considerada classe de agressividade ambiental moderada (de nível II) quando a área de classificação ambiental do projeto é urbana e o risco de deterioração é pequeno, que é o caso do projeto em questão.
- Cobrimento mínimo da armadura:
  - Ainda segundo a NBR 6118:2014 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento, o cobrimento mínimo da armadura segundo a classe de agressividade ambiental é de 3 cm para vigas, pilares, fundações e 2,5 cm para lajes;
- Fundação em sapata isolada assentada a 1,20 m de profundidade;
- Propriedades do Solo 1:
  - De acordo com a Equação 2.4 e o relatório de sondagem apresentado na Figura 4, a resistência do solo é calculada a seguir:

**Figura 9 - Bulbo de tensões do Solo 1 – Unifamiliar**



Fonte: Autores (2018).

Para o cálculo do bulbo de tensões apresentado na Figura 9, foi considerada a sapata de menor dimensão do projeto (60cm). Portanto, o bulbo de tensões compreende 1,20 m de profundidade (duas vezes a menor dimensão da sapata), localizado de 1,20 m até 2,40 m, com índice de resistência à penetração (N) variando entre 6 e 8. Em posse dessas informações, é realizado o cálculo apresentado na Equação 4.1 para encontrar a resistência do solo e na Equação 4.2 a pressão admissível do solo.

$$N_{SPT} = \frac{N_{1,20m} + N_{2,00m} + N_{2,40m}}{3} \therefore N_{SPT} = \frac{6 + 6 + 8}{3} \therefore N_{SPT} = 6,67 \quad (4.1)$$

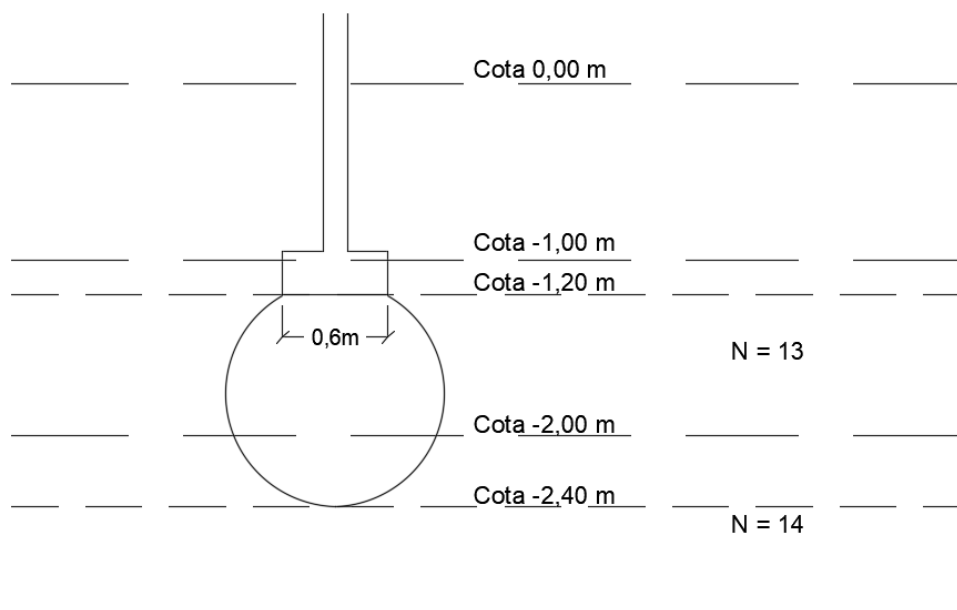
$$\sigma_s = \frac{N_{SPT}}{5} \therefore \sigma_s = \frac{6,67}{5} \therefore \sigma_s = 1,33 \text{ kgf/cm}^2 \quad (4.2)$$

Através da resistência do solo ( $N_{SPT}$ ), é possível concluir mediante a Tabela 1 apresentada no item 2.4.1 que o peso específico do solo é de 17 kN/m<sup>3</sup>.

– Propriedades do solo 2:

De acordo com a Equação 2.4 e o relatório de sondagem apresentado na Figura 5, a resistência do solo é calculada a seguir:

**Figura 10 - Bulbo de tensões do Solo 2 – Unifamiliar**



Fonte: Autores (2018).

A análise de bulbo de tensão realizada na Figura 10 é similar àquela realizada na Figura 9, logo o cálculo da resistência e pressão admissível do solo apresentados nas Equações 4.3 e 4.4 consideram a mesma metodologia que aqueles das Equações 4.1 e 4.2.

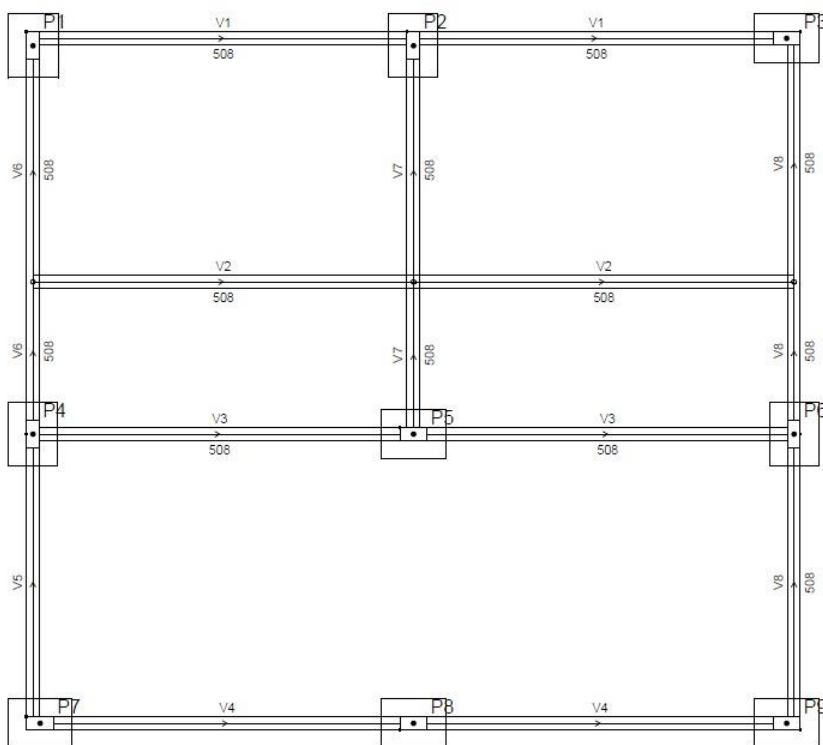
$$N_{SPT} = \frac{N_{1,20m} + N_{2,00m} + N_{2,40m}}{3} \therefore N_{SPT} = \frac{13 + 13 + 14}{3} \therefore N_{SPT} = 13,33 \quad (4.3)$$

$$\sigma_s = \frac{N_{SPT}}{5} \therefore \sigma_s = \frac{13,33}{5} \therefore \sigma_s = 2,67 \text{ kgf/cm}^2 \quad (4.4)$$

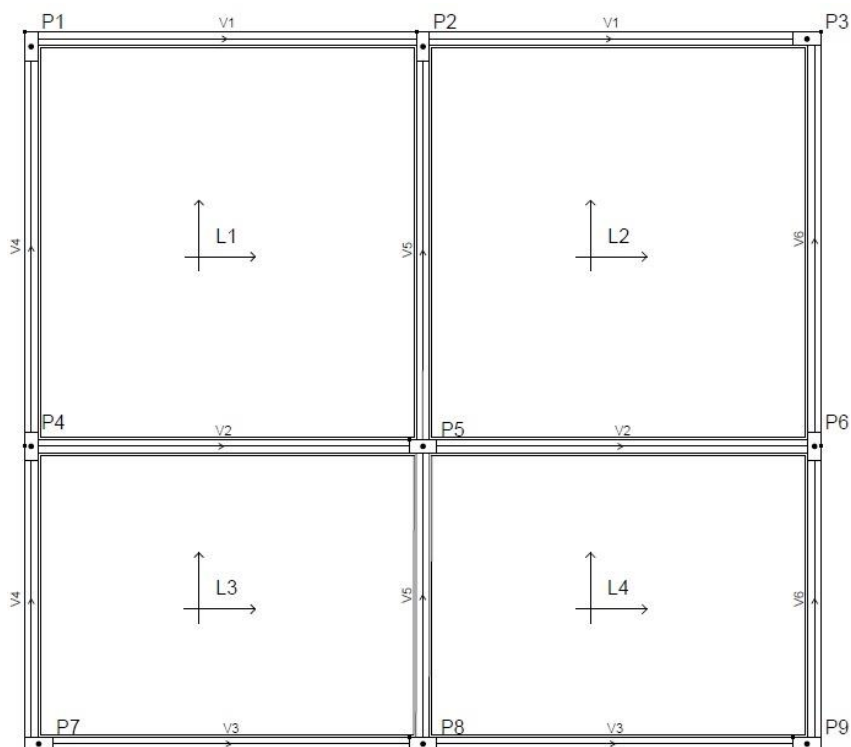
Através da resistência do solo ( $N_{SPT}$ ), é possível concluir mediante a Tabela 1 apresentada no item 2.4.1 que o peso específico do solo é de 19 kN/m<sup>3</sup>.

- Disposição dos elementos estruturais:

As Figuras 11 e 12 ilustram o croqui da estrutura, contemplando as fundações, pilares, vigas e lajes dos pavimentos indicados.

**Figura 11 - Croqui do baldrame – Unifamiliar**

Fonte: Autores (2018).

**Figura 12 - Croqui do pavimento térreo – Unifamiliar**

Fonte: Autores (2018).

## 4.1.1 Método Convencional – Solo 1

Para o método convencional, os apoios de fundação foram considerados como engastados ao solo, sendo apresentados nas Tabelas 3 e 4 o resultado do dimensionamento dos pilares e sapatas da estrutura.

Tabela 3 - Pilares – Unifamiliar apoio rígido Solo 1

<b>Baldrame</b>				
<b>Pilar</b>	<b>Seção (cm)</b>	<b>Área de aço (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Aço (mm)</b>	<b>Estribos</b>
P01	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P02	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P03	14 x 30	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P04	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P05	14 x 30	9,42	12 Ø 10	Ø 5 c/10
P06	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P07	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P08	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P09	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10

<b>Térreo</b>				
<b>Pilar</b>	<b>Seção (cm)</b>	<b>Área de aço (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Aço (mm)</b>	<b>Estribos</b>
P01	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P02	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P03	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P04	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P05	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P06	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P07	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P08	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P09	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10

Fonte: Autores (2018).

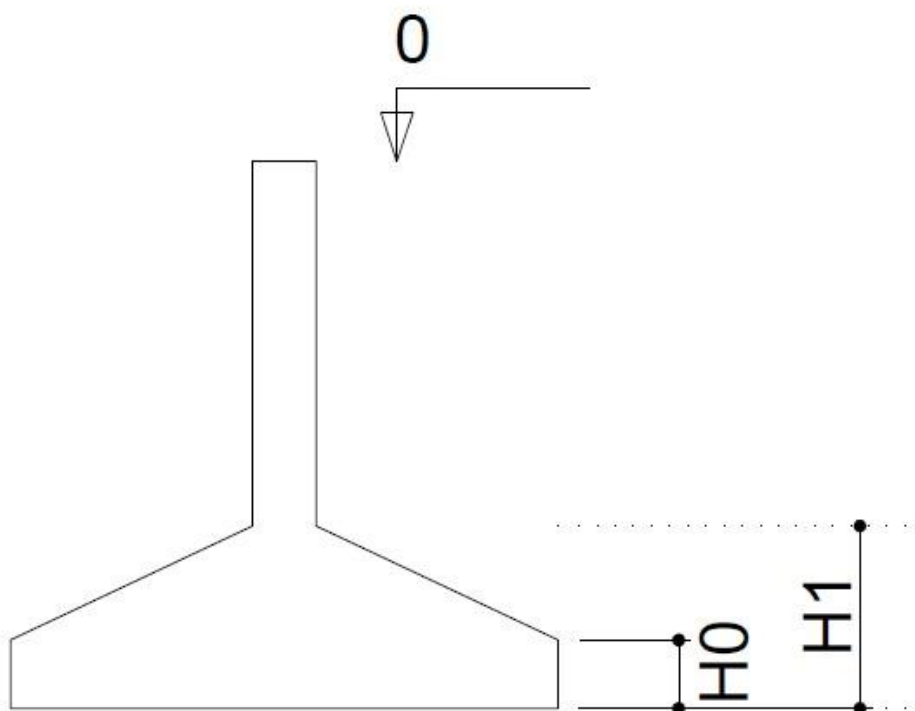
Tabela 4 - Fundações - Unifamiliar apoio rígido Solo 1

Sapata	Seção (cm)	H0 (cm)	H1 (cm)	Área de aço base (cm <sup>2</sup> )	Aço (mm)	Área de aço altura (cm <sup>2</sup> )	Aço (mm)
S01	80 x 90	25	25	3,12	10 Ø 6,3 c/9	2,81	9 Ø 6,3 c/9
S02	110 x 125	15	35	6,03	12 Ø 8 c 10	4,52	9 Ø 8 c/12
S03	75 x 95	25	25	3,12	10 Ø 6,3 c/9	2,49	8 Ø 6,3 c/9
S04	90 x 110	15	30	4,05	13 Ø 6,3 c/8	2,81	9 Ø 6,3 c/10
S05	120 x 140	15	40	8,55	17 Ø 8 c/8	6,03	12 Ø 8 c/10
S06	90 x 110	15	30	4,05	13 Ø 6,3 c/8	2,81	9 Ø 6,3 c/10
S07	60 x 70	25	25	2,49	8 Ø 6,3 c/9	1,87	6 Ø 6,3 c/9
S08	60 x 80	25	25	2,81	9 Ø 6,3 c/9	1,87	6 Ø 6,3 c/9
S09	60 x 70	25	25	2,49	8 Ø 6,3 c/9	1,87	6 Ø 6,3 c/9

Fonte: Autores (2018).

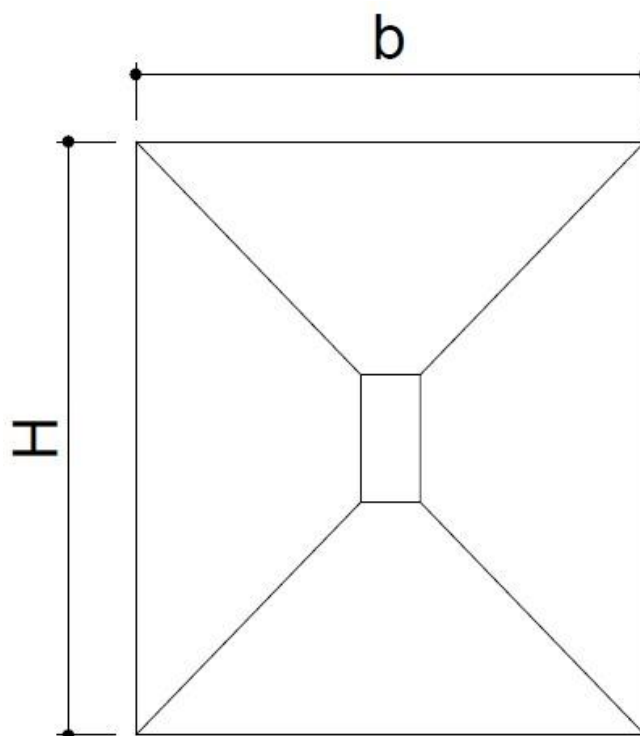
As Figuras 13 e 14 ilustram as dimensões H0, H1, base (b) e a altura (h) da sapata.

Figura 13 - Dimensões da fundação em corte



Fonte: Autores (2018).

Figura 14 - Dimensões da fundação em planta



Fonte: Autores (2018).

#### 4.1.2 Interação Solo-Estrutura – Solo 1

Após a obtenção do método convencional, foram utilizadas as fundações calculadas para obtenção dos coeficientes elásticos, com o intuito de gerar o dimensionamento da estrutura no método interação solo-estrutura. O cálculo dos parâmetros apresentados nas Equações 4.5 a 4,12 foi realizado para cada uma das fundações da residência, utilizando como embasamento o conteúdo apresentado no item 2.4.2. Como são diversas fundações, mostrar o cálculo de cada uma delas seria muito repetitivo, já que a única variável que sofrerá alterações será a área da base da sapata. Portanto, serão apresentados apenas os cálculos dos parâmetros da sapata S1.

Sendo a pressão admissível do solo ( $\sigma_s$ ) de 1,33 kgf/cm<sup>2</sup> (Equação 4.2) e através da Tabela 2, pode-se concluir que o coeficiente de recalque ( $k_v$ ) encontra-se entre 2,74 kgf/cm<sup>3</sup> e 2,83 kgf/cm<sup>3</sup>, contudo será utilizado 2,74 kgf/cm<sup>3</sup>.



$$A_{\text{base,sapata}} = b \cdot h \therefore A_{\text{base,sapata}} = 0,80 \cdot 0,90 \therefore A_{\text{base,sapata}} = 0,72 \text{ m}^2 \quad (4.5)$$

$$I_x = \frac{b \cdot h^3}{12} \therefore I_x = \frac{0,80 \cdot 0,90^3}{12} \therefore I_x = 0,049 \text{ m}^4 \quad (4.6)$$

$$I_y = \frac{h \cdot b^3}{12} \therefore I_y = \frac{0,90 \cdot 0,80^3}{12} \therefore I_y = 0,038 \text{ m}^4 \quad (4.7)$$

$$k_z = k_v \cdot A_{\text{base,sapata}} \therefore k_z = 2.740.000 \cdot 0,72 \therefore k_z = 1.972.800 \text{ kgf/m} \quad (4.8)$$

$$k_y = k_z \therefore k_y = 1.972.800 \text{ kgf/m} \quad (4.9)$$

$$k_x = k_z \therefore k_x = 1.972.800 \text{ kgf/m} \quad (4.10)$$

$$k_{rx} = k_v \cdot I_x \therefore k_{rx} = 2.740.000 \cdot 0,049 \therefore k_{rx} = 133.164 \text{ kgfm/rad} \quad (4.11)$$

$$k_{ry} = k_v \cdot I_y \therefore k_{ry} = 2.740.000 \cdot 0,038 \therefore k_{ry} = 105.216 \text{ kgfm/rad} \quad (4.12)$$

**Tabela 5 - Coeficientes elásticos das fundações – Unifamiliar Solo 1**

SAPATAS	B (m)	H (m)	Área (m <sup>2</sup> )	I <sub>x</sub> (m <sup>4</sup> )	I <sub>y</sub> (m <sup>4</sup> )	K <sub>v</sub> (kgf/m <sup>3</sup> )
S1	0,80	0,90	0,72	0,049	0,038	2.740.000
S2	1,10	1,25	1,38	0,179	0,139	2.740.000
S3	0,75	0,95	0,71	0,054	0,033	2.740.000
S4	0,90	1,10	0,99	0,100	0,067	2.740.000
S5	1,20	1,40	1,68	0,274	0,202	2.740.000
S6	0,90	1,10	0,99	0,100	0,067	2.740.000
S7	0,60	0,70	0,42	0,017	0,013	2.740.000
S8	0,60	0,80	0,48	0,026	0,014	2.740.000
S9	0,60	0,70	0,42	0,017	0,013	2.740.000

SAPATAS	K <sub>x</sub> (kgf/m)	K <sub>y</sub> (kgf/m)	K <sub>z</sub> (kgf/m)	K <sub>rx</sub> (kgfm/rad)	K <sub>ry</sub> (kgfm/rad)
S1	1.972.800	1.972.800	1.972.800	133.164	105.216
S2	3.767.500	3.767.500	3.767.500	490.560	379.890
S3	1.952.250	1.952.250	1.952.250	146.825	91.512
S4	2.712.600	2.712.600	2.712.600	273.521	183.101
S5	4.603.200	4.603.200	4.603.200	751.856	552.384
S6	2.712.600	2.712.600	2.712.600	273.521	183.101
S7	1.150.800	1.150.800	1.150.800	46.991	34.524
S8	1.315.200	1.315.200	1.315.200	70.144	39.456
S9	1.150.800	1.150.800	1.150.800	46.991	34.524

Fonte: Autores (2018).

As Tabelas 8 e 9 apresentam o resultado do dimensionamento dos pilares e sapatas da estrutura.

**Tabela 6 - Pilares – Unifamiliar apoio elástico Solo 1**

<b>Baldrame</b>				
<b>Pilar</b>	<b>Seção (cm)</b>	<b>Área de aço (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Aço (mm)</b>	<b>Estribos</b>
P01	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P02	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P03	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P04	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P05	14 x 30	6,28	8 Ø 10	Ø 5 c/10
P06	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P07	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P08	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P09	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10

<b>Térreo</b>				
<b>Pilar</b>	<b>Seção (cm)</b>	<b>Área de aço (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Aço (mm)</b>	<b>Estribos</b>
P01	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P02	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P03	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P04	14 x 30	4,72	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P05	14 x 30	4,72	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P06	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P07	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P08	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P09	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10

Fonte: Autores (2018).

**Tabela 7 - Fundações - Unifamiliar apoio elástico Solo 1**

<b>Sapata</b>	<b>Seção (cm)</b>	<b>H0 (cm)</b>	<b>H1 (cm)</b>	<b>Área de aço base (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Aço (mm)</b>	<b>Área de aço altura (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Aço (mm)</b>
S01	65 x 80	25	25	2,81	9 Ø 6,3 c/9	2,18	7 Ø 6,3 c/9
S02	95 x 115	15	30	5,03	10 Ø 8 c/12	3,12	10 Ø 6,3 c/9
S03	65 x 80	25	25	2,81	9 Ø 6,3 c/9	2,18	7 Ø 6,3 c/9
S04	80 x 95	25	25	3,12	10 Ø 6,3 c/9	2,81	9 Ø 6,3 c/9

Sapata	Seção (cm)	H0 (cm)	H1 (cm)	Área de aço base (cm <sup>2</sup> )	Aço (mm)	Área de aço altura (cm <sup>2</sup> )	Aço (mm)
S05	115 x 135	15	35	7,54	15 Ø 8 c/9	5,03	10 Ø 8 c/11
S06	85 x 100	25	25	3,74	12 Ø 6,3 c/8	2,81	9 Ø 6,3 c/9
S07	60 x 70	25	25	2,49	8 Ø 6,3 c/9	1,87	6 Ø 6,3 c/9
S08	60 x 70	25	25	2,49	8 Ø 6,3 c/9	1,87	6 Ø 6,3 c/9
S09	60 x 70	25	25	2,49	8 Ø 6,3 c/9	1,87	6 Ø 6,3 c/9

Fonte: Autores (2018).

#### 4.1.3 Método Convencional – Solo 2

Utilizando o mesmo método do item 4.1.1, com os apoios de fundação engastados ao solo, as Tabelas 5 e 6 apontam o resultado do dimensionamento dos pilares e sapatas da estrutura.

**Tabela 8 - Pilares - Unifamiliar apoio rígido Solo 2**

<b>Baldrame</b>				
Pilar	Seção (cm)	Área de aço (cm <sup>2</sup> )	Aço (mm)	Estribos
P01	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P02	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P03	14 x 30	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P04	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P05	14 x 30	9,42	12 Ø 10	Ø 5 c/10
P06	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P07	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P08	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P09	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10

<b>Térreo</b>				
Pilar	Seção (cm)	Área de aço (cm <sup>2</sup> )	Aço (mm)	Estribos
P01	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P02	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P03	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P04	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P05	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P06	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10

Térreo				
Pilar	Seção (cm)	Área de aço (cm <sup>2</sup> )	Aço (mm)	Estribos
P07	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P08	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P09	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10

Fonte: Autores (2018).

Tabela 9 - Fundações - Unifamiliar apoio rígido Solo 2

Sapata	Seção (cm)	H0 (cm)	H1 (cm)	Área de aço base (cm <sup>2</sup> )	Aço (mm)	Área de aço altura (cm <sup>2</sup> )	Aço (mm)
S01	60 x 70	25	25	2,49	8 Ø 6,3 c/9	2,81	6 Ø 6,3 c/9
S02	75 x 90	25	25	3,12	10 Ø 6,3 c/9	4,52	8 Ø 6,3 c/9
S03	60 x 70	25	25	2,49	8 Ø 6,3 c/9	2,49	6 Ø 6,3 c/9
S04	65 x 80	25	25	2,81	9 Ø 6,3 c/9	2,81	7 Ø 6,3 c/9
S05	85 x 100	25	25	3,74	12 Ø 6,3 c/8	6,03	9 Ø 6,3 c/9
S06	65 x 80	25	25	2,81	9 Ø 6,3 c/9	2,81	7 Ø 6,3 c/9
S07	60 x 70	25	25	2,49	8 Ø 6,3 c/9	1,87	6 Ø 6,3 c/9
S08	60 x 70	25	25	2,49	8 Ø 6,3 c/9	1,87	6 Ø 6,3 c/9
S09	60 x 70	25	25	2,49	8 Ø 6,3 c/9	1,87	6 Ø 6,3 c/9

Fonte: Autores (2018).

#### 4.1.4 Interação Solo-Estrutura – Solo 2

Assim como no item 4.1.3, foram calculados os coeficientes elásticos para o solo em questão. Sendo a pressão admissível do solo ( $\sigma_s$ ) de 2,67 kgf/cm<sup>2</sup> e através da Tabela 2, pode-se concluir que o coeficiente de recalque ( $k_v$ ) encontra-se entre 5,30 kgf/cm<sup>3</sup> e 5,40 kgf/cm<sup>3</sup>, contudo será utilizado 5,30 kgf/cm<sup>3</sup>.

Tabela 10 - Coeficientes elásticos das fundações – Unifamiliar Solo 2

SAPATAS	B (m)	H (m)	Área (m <sup>2</sup> )	I <sub>x</sub> (m <sup>4</sup> )	I <sub>y</sub> (m <sup>4</sup> )	K <sub>v</sub> (kgf/m <sup>3</sup> )
S1	0,60	0,70	0,42	0,017	0,013	5.300.000
S2	0,75	0,90	0,68	0,046	0,032	5.300.000
S3	0,60	0,70	0,42	0,017	0,013	5.300.000
S4	0,65	0,80	0,52	0,028	0,018	5.300.000
S5	0,85	1,00	0,85	0,071	0,051	5.300.000
S6	0,65	0,80	0,52	0,028	0,018	5.300.000

SAPATAS	B (m)	H (m)	Área (m <sup>2</sup> )	I <sub>x</sub> (m <sup>4</sup> )	I <sub>y</sub> (m <sup>4</sup> )	K <sub>v</sub> (kgf/m <sup>3</sup> )
S7	0,60	0,70	0,42	0,017	0,013	5.300.000
S8	0,60	0,70	0,42	0,017	0,013	5.300.000
S9	0,60	0,70	0,42	0,017	0,013	5.300.000

SAPATAS	K <sub>x</sub> (kgf/m)	K <sub>y</sub> (kgf/m)	K <sub>z</sub> (kgf/m)	K <sub>rx</sub> (kgfm/rad)	K <sub>ry</sub> (kgfm/rad)
S1	2.226.000	2.226.000	2.226.000	90.895	66.780
S2	3.577.500	3.577.500	3.577.500	241.481	167.695
S3	2.226.000	2.226.000	2.226.000	90.895	66.780
S4	2.756.000	2.756.000	2.756.000	146.987	97.034
S5	4.505.000	4.505.000	4.505.000	375.417	271.239
S6	2.756.000	2.756.000	2.756.000	146.987	97.034
S7	2.226.000	2.226.000	2.226.000	90.895	66.780
S8	2.226.000	2.226.000	2.226.000	90.895	66.780
S9	2.226.000	2.226.000	2.226.000	90.895	66.780

Fonte: Autores (2018).

As Tabelas 11 e 12 apresentam o resultado do dimensionamento dos pilares e sapatas da estrutura.

**Tabela 11 - Pilares – Unifamiliar apoio elástico Solo 2**

Baldrame				
Pilar	Seção (cm)	Área de aço (cm <sup>2</sup> )	Aço (mm)	Estribos
P01	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P02	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P03	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P04	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P05	14 x 30	6,28	8 Ø 10	Ø 5 c/10
P06	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P07	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P08	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P09	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10

Térreo				
Pilar	Seção (cm)	Área de aço (cm <sup>2</sup> )	Aço (mm)	Estribos
P01	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P02	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P03	14 x 30	4,72	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P04	14 x 30	4,72	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P05	14 x 30	4,72	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P06	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P07	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P08	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P09	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10

Fonte: Autores (2018).

Tabela 12 - Fundações – Unifamiliar apoio elástico Solo 2

Sapata	Seção (cm)	H0 (cm)	H1 (cm)	Área de aço base (cm <sup>2</sup> )	Aço (mm)	Área de aço altura (cm <sup>2</sup> )	Aço (mm)
S01	60 x 70	25	25	2,49	8 Ø 6,3 c/9	1,87	6 Ø 6,3 c/9
S02	65 x 80	25	25	2,81	9 Ø 6,3 c/9	2,18	7 Ø 6,3 c/9
S03	60 x 70	25	25	2,49	8 Ø 6,3 c/9	1,87	6 Ø 6,3 c/9
S04	60 x 70	25	25	2,49	8 Ø 6,3 c/9	1,87	6 Ø 6,3 c/9
S05	75 x 95	25	25	3,12	10 Ø 6,3 c/9	2,49	8 Ø 6,3 c/9
S06	60 x 70	25	25	2,49	8 Ø 6,3 c/9	1,87	6 Ø 6,3 c/9
S07	60 x 70	25	25	2,49	8 Ø 6,3 c/9	1,87	6 Ø 6,3 c/9
S08	60 x 70	25	25	2,49	8 Ø 6,3 c/9	1,87	6 Ø 6,3 c/9
S09	60 x 70	25	25	2,49	8 Ø 6,3 c/9	1,87	6 Ø 6,3 c/9

Fonte: Autores (2018).

## 4.2 Multifamiliar

Os tópicos a seguir apresentam os dados de entrada pertinentes utilizados no software, referente ao projeto multifamiliar, sendo apresentados sua origem quando realizado alguma consulta ou cálculo para sua obtenção.

- Resistência característica do concreto à compressão:

30 MPa para todos elementos estruturais, tais como lajes, vigas, pilares e fundação;

- Carga acidental nas lajes:

De acordo com a NBR 6120:2000 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações, a carga acidental considerada para dormitórios, salas, cozinha, banheiro é de 1,5 kN/m<sup>2</sup>, enquanto para área de serviço é de 2,0 kN/m<sup>2</sup>.

- Classe de agressividade ambiental nível II:

Segundo a NBR 6118:2014 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento, é considerada classe de agressividade ambiental moderada (de nível II) quando a área de classificação ambiental do projeto é urbana e o risco de deterioração é pequeno, que é o caso do projeto em questão.

- Cobrimento mínimo da armadura:

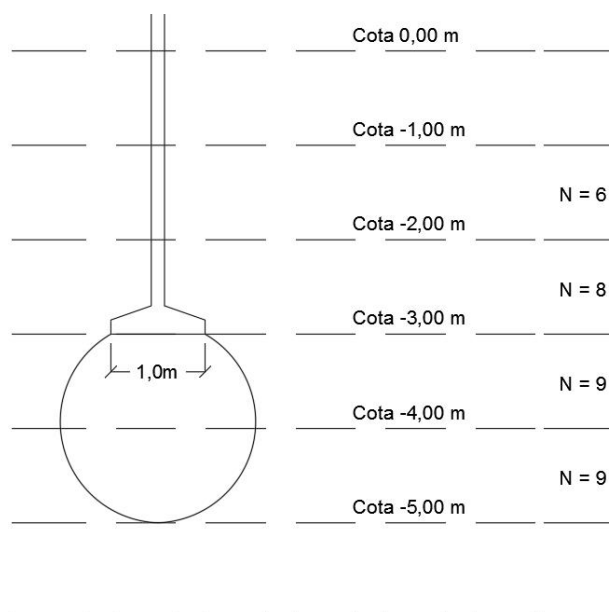
Ainda segundo a NBR 6118:2014 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento, o cobrimento mínimo da armadura segundo a classe de agressividade ambiental é de 3 cm para vigas, pilares, fundações e 2,5 cm para lajes;

- Fundação em sapata isolada assentada a 3,00 m de profundidade;

- Propriedades do Solo 1:

De acordo com a Equação 2.4 e o relatório de sondagem apresentado na Figura 4, a resistência do solo é calculada a seguir:

**Figura 15 - Bulbo de tensões e SPT do Solo 1 – Multifamiliar**



Fonte: Autores (2018).

A análise do bulbo de tensão realizada na Figura 15 é similar àquela realizada na Figura 9, variando apenas a menor dimensão da sapata, que no caso do multifamiliar é 1,00 m. Portanto, o bulbo de tensões compreende 2,00 m de profundidade (duas vezes a menor dimensão da sapata), localizado entre 3,00 m e 5,00 m, com índice de resistência à penetração (N) variando entre 8 e 9. Em posse dessas informações, é realizada a mesma metodologia de cálculo apresentada nas Equações 4.1 e 4.2 para as Equações 4.13 e 4.14.

$$N_{\text{SPT}} = \frac{N_{1,20\text{m}} + N_{2,00\text{m}} + N_{2,40\text{m}}}{3} \therefore N_{\text{SPT}} = \frac{8 + 9 + 9}{3} \therefore N_{\text{SPT}} = 8,67 \quad (4.13)$$

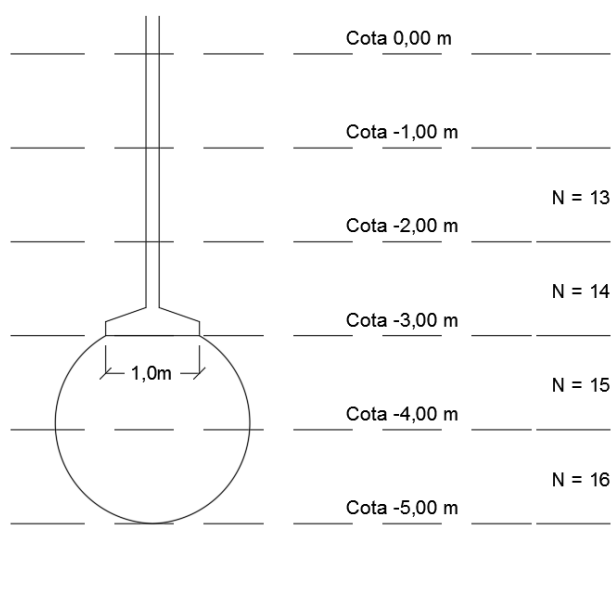
$$\sigma_s = \frac{N_{\text{SPT}}}{5} \therefore \sigma_s = \frac{8,67}{5} \therefore \sigma_s = 1,73 \text{ kgf/cm}^2 \quad (4.14)$$

Através da resistência do solo ( $N_{\text{SPT}}$ ), é possível concluir mediante a Tabela 1 apresentada no item 2.4.1 que o peso específico do solo é de 17 kN/m<sup>3</sup>.

– Propriedades do solo 2:

De acordo com a Equação 2.4 e o relatório de sondagem apresentado na Figura 5, a resistência do solo é calculada a seguir:

**Figura 16 - Bulbo de tensões e SPT do Solo 2 – Multifamiliar**



Fonte: Autores (2018).



A análise de bulbo de tensão realizada na Figura 16 é similar àquela realizada na Figura 15, logo o cálculo da resistência e pressão admissível do solo apresentados nas Equações 4.15 e 4.16 consideram a mesma metodologia que aqueles das Equações 4.1 e 4.2.

$$N_{SPT} = \frac{N_{1,20m} + N_{2,00m} + N_{2,40m}}{3} \therefore N_{SPT} = \frac{14 + 15 + 16}{3} \therefore N_{SPT} = 15 \quad (4.15)$$

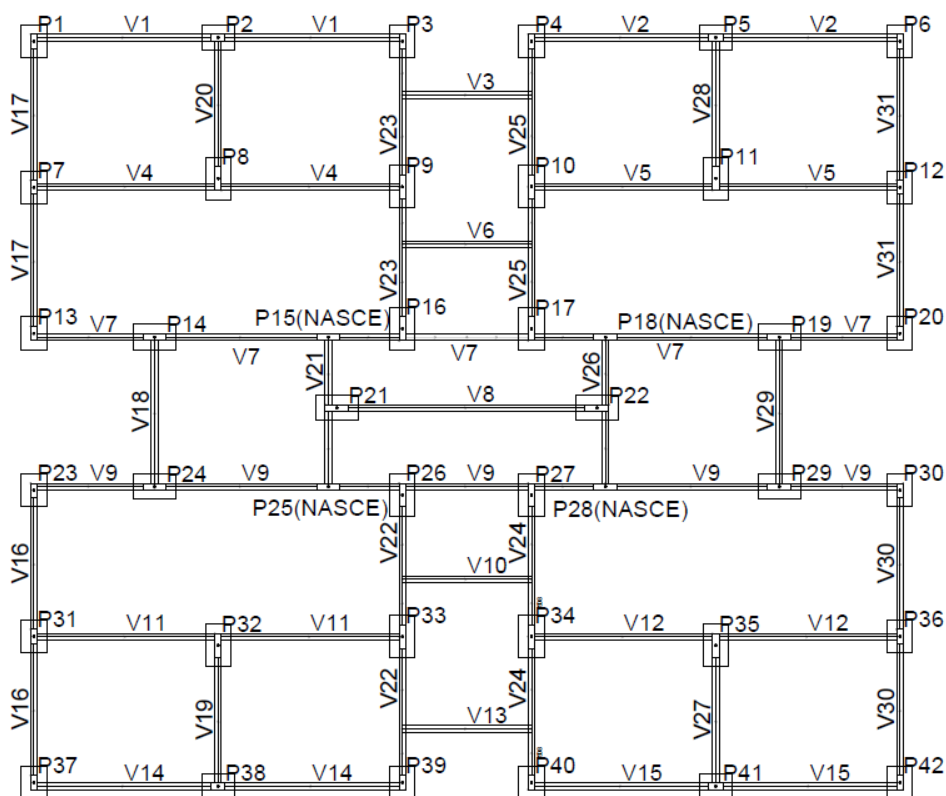
$$\sigma_s = \frac{N_{SPT}}{5} \therefore \sigma_s = \frac{15}{5} \therefore \sigma_s = 3,00 \text{ kgf/cm}^2 \quad (4.16)$$

Através da resistência do solo ( $N_{SPT}$ ), é possível concluir mediante a Tabela 1 apresentada no item 2.4.1 que o peso específico do solo é de 19 kN/m<sup>3</sup>.

– Disposição dos elementos estruturais:

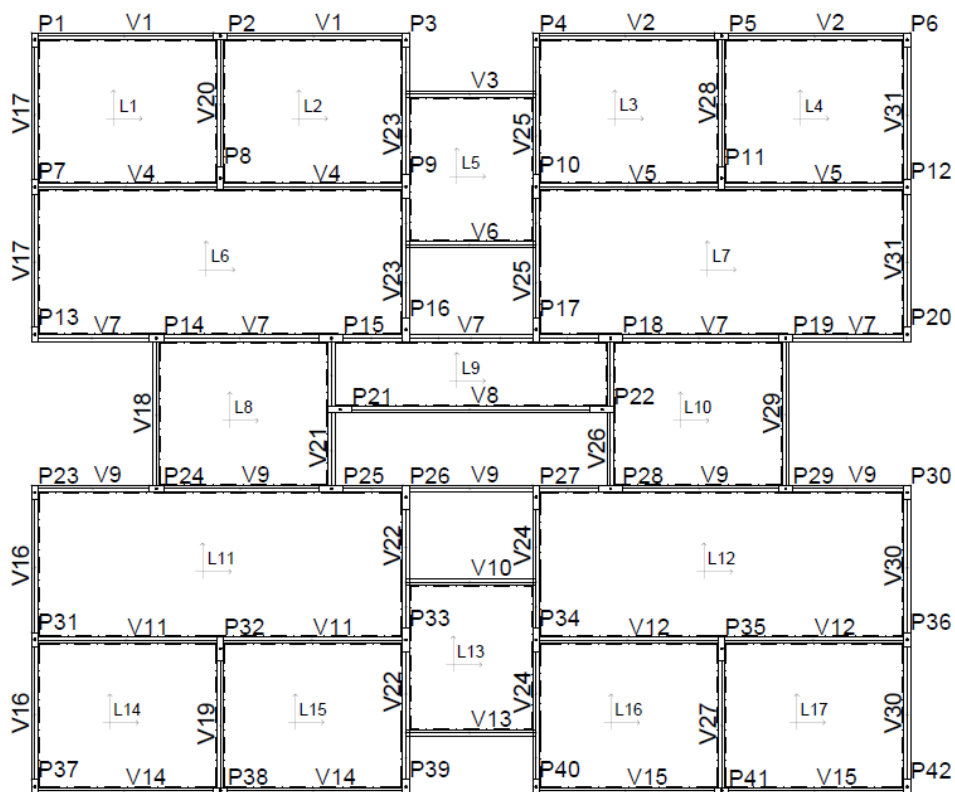
As Figuras 17, 18 e 19 ilustram o croqui da estrutura, contemplando as fundações, pilares, vigas e lajes dos pavimentos indicados.

**Figura 17 - Croqui do baldrame – Multifamiliar**



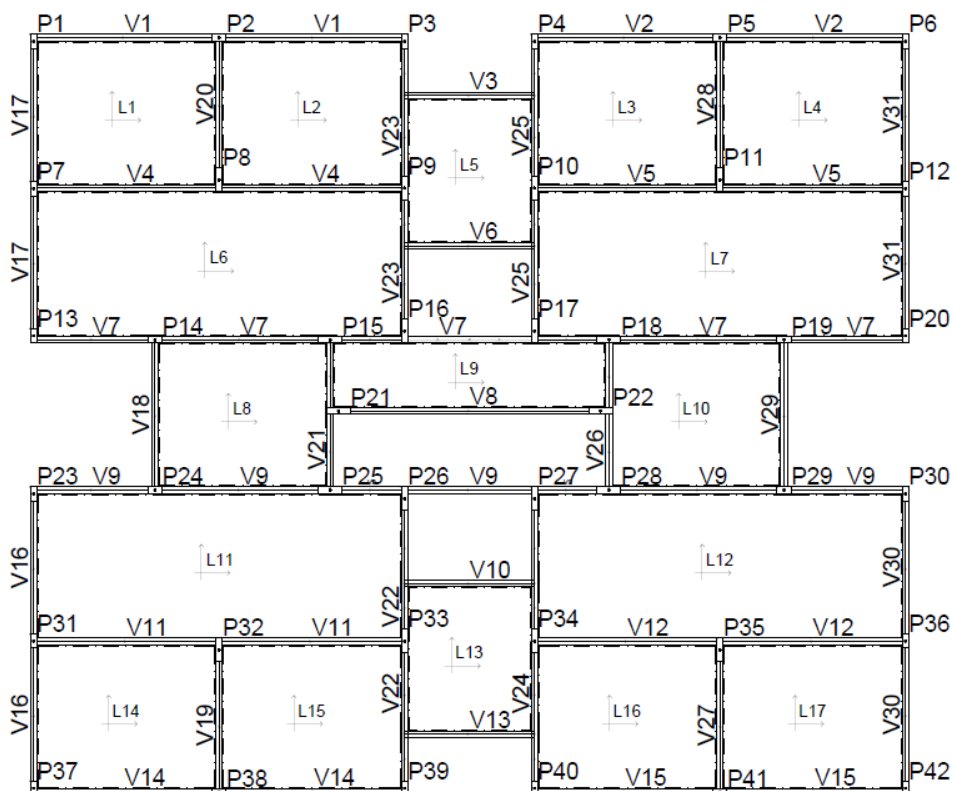
Fonte: Autores (2018).

**Figura 18 - Croqui do pavimento tipo – Multifamiliar**



Fonte: Autores (2018).

**Figura 19 - Croqui do quarto pavimento – Multifamiliar**



Fonte: Autores (2018).

## 4.2.1 Método Convencional – Solo 1

Utilizando o mesmo método do item 4.1.1, os apoios de fundação foram considerados totalmente engastados ao solo. As Tabelas 13 e 14 apontam o resultado do dimensionamento dos pilares e sapatas da estrutura.

Tabela 13 - Pilares - Multifamiliar apoio rígido Solo 1

<b>Baldrame</b>				
<b>Pilar</b>	<b>Seção (cm)</b>	<b>Área de aço (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Aço (mm)</b>	<b>Estribos</b>
P01	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P02	14 x 30	6,28	8 Ø 10	Ø 5 c/10
P03	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P04	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P05	14 x 30	6,28	8 Ø 10	Ø 5 c/10
P06	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P07	14 x 30	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P08	14 x 50	12,06	6 Ø 16	Ø 5 c/12,5
P09	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P10	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P11	14 x 50	12,06	6 Ø 16	Ø 5 c/12,5
P12	14 x 30	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P13	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P14	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P16	14 x 50	6,28	8 Ø 10	Ø 5 c/10
P17	14 x 50	6,28	8 Ø 10	Ø 5 c/10
P19	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P20	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P21	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P22	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P23	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P24	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P26	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P27	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P29	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P30	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P31	14 x 30	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P32	14 x 50	16,08	8 Ø 16	Ø 5 c/12,5
P33	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P34	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P35	14 x 50	16,08	8 Ø 16	Ø 5 c/12,5
P36	14 x 30	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P37	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10

<b>Baldrame</b>				
<b>Pilar</b>	<b>Seção (cm)</b>	<b>Área de aço (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Aço (mm)</b>	<b>Estribos</b>
P38	14 x 30	6,28	8 Ø 10	Ø 5 c/10
P39	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P40	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P41	14 x 30	6,28	8 Ø 10	Ø 5 c/10
P42	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10

<b>Tipo</b>				
<b>Pilar</b>	<b>Seção (cm)</b>	<b>Área de aço (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Aço (mm)</b>	<b>Estribos</b>
P01	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P02	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P03	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P04	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P05	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P06	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P07	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P08	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P09	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P10	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P11	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P12	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P13	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P14	14 x 30	6,28	8 Ø 10	Ø 5 c/10
P15	14 x 50	12,56	16 Ø 10	Ø 5 c/10
P16	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P17	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P18	14 x 50	12,56	16 Ø 10	Ø 5 c/10
P19	14 x 30	6,28	8 Ø 10	Ø 5 c/10
P20	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P21	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P22	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P23	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P24	14 x 30	6,28	8 Ø 10	Ø 5 c/10
P25	14 x 50	12,56	16 Ø 10	Ø 5 c/10
P26	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P27	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P28	14 x 50	12,56	16 Ø 10	Ø 5 c/10
P29	14 x 30	6,28	8 Ø 10	Ø 5 c/10
P30	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P31	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P32	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10

<b>Tipo</b>				
<b>Pilar</b>	<b>Seção (cm)</b>	<b>Área de aço (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Aço (mm)</b>	<b>Estribos</b>
P33	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P34	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P35	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P36	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P37	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P38	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P39	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P40	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P41	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P42	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10

<b>Cobertura</b>				
<b>Pilar</b>	<b>Seção (cm)</b>	<b>Área de aço (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Aço (mm)</b>	<b>Estribos</b>
P01	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P02	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P03	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P04	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P05	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P06	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P07	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P08	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P09	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P10	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P11	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P12	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P13	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P14	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P15	14 x 50	7,85	10 Ø 10	Ø 5 c/10
P16	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P17	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P18	14 x 50	7,85	10 Ø 10	Ø 5 c/10
P19	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P20	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P21	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P22	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P23	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P24	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P25	14 x 50	7,85	10 Ø 10	Ø 5 c/10
P26	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P27	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P28	14 x 50	7,85	10 Ø 10	Ø 5 c/10

<b>Cobertura</b>				
<b>Pilar</b>	<b>Seção (cm)</b>	<b>Área de aço (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Aço (mm)</b>	<b>Estribos</b>
P30	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P31	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P32	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P33	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P34	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P35	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P36	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P37	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P38	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P39	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P40	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P41	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P42	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10

Fonte: Autores (2018).

**Tabela 14 - Fundações - Multifamiliar apoio rígido Solo 1**

<b>Sapata</b>	<b>Seção (cm)</b>	<b>H0 (cm)</b>	<b>H1 (cm)</b>	<b>Área de aço base (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Aço (mm)</b>	<b>Área de aço altura (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Aço (mm)</b>
S01	120 x 140	15	40	8,55	17 Ø 8 c/8	6,03	12 Ø 8 c/10
S02	160 x 180	20	50	17,28	22 Ø 10 c/8	14,14	18 Ø 10 c/9
S03	135 x 150	15	40	9,42	12 Ø 10 c/12	7,54	15 Ø 8 c/9
S04	135 x 150	15	40	9,42	12 Ø 10 c/12	7,54	15 Ø 8 c/9
S05	160 x 180	20	50	17,28	22 Ø 10 c/8	14,14	18 Ø 10 c/9
S06	120 x 140	15	40	8,55	17 Ø 8 c/8	6,03	12 Ø 8 c/10
S07	150 x 165	15	45	12,57	16 Ø 10 c/10	11,00	14 Ø 10 c/11
S08	205 x 240	25	65	44,23	22 Ø 16 c/11	28,23	23 Ø 12,5 c/9
S09	180 x 220	20	60	33,13	27 Ø 12,5 c/8	19,63	12 Ø 10 c/12
S10	180 x 220	20	60	33,13	27 Ø 12,5 c/8	19,63	12 Ø 10 c/12
S11	205 x 240	25	65	44,23	22 Ø 16 c/11	28,23	23 Ø 12,5 c/9
S12	150 x 165	15	45	12,57	16 Ø 10 c/10	11,00	14 Ø 10 c/11
S13	105 x 125	15	35	6,03	12 Ø 8 c/10	4,52	9 Ø 8 c/12
S14	165 x 205	20	55	24,54	20 Ø 12,5 c/10	15,71	20 Ø 10 c/8
S16	170 x 210	20	55	28,23	23 Ø 12,5 c/9	16,49	21 Ø 10 c/8
S17	170 x 210	20	55	28,23	23 Ø 12,5 c/9	16,49	21 Ø 10 c/8
S19	165 x 210	20	55	24,54	20 Ø 12,5 c/10	15,71	20 Ø 10 c/8
S20	105 x 125	15	35	6,03	12 Ø 8 c/10	4,52	9 Ø 8 c/12
S21	185 x 225	20	60	34,36	28 Ø 12,5 c/8	20,86	17Ø12,5 c/11
S22	185 x 225	20	60	34,36	28 Ø 12,5 c/8	20,86	17Ø12,5 c/11

Sapata	Seção (cm)	H0 (cm)	H1 (cm)	Área de aço base (cm <sup>2</sup> )	Aço (mm)	Área de aço altura (cm <sup>2</sup> )	Aço (mm)
S23	105 x 125	15	35	6,03	12 Ø 8 c/10	4,52	9 Ø 8 c/12
S24	170 x 200	20	55	24,54	20 Ø 12,5 c/10	16,49	21 Ø 10 c/8
S26	165 x 205	20	55	24,54	20 Ø 12,5 c/10	15,71	20 Ø 10 c/8
S27	165 x 205	20	55	24,54	20 Ø 12,5 c/10	15,71	20 Ø 10 c/8
S29	170 x 200	20	55	24,54	20 Ø 12,5 c/10	16,49	21 Ø 10 c/8
S30	105 x 125	15	35	6,03	12 Ø 8 c/10	4,52	9 Ø 8 c/12
S31	150 x 165	15	45	12,57	16 Ø 10 c/10	11,00	14 Ø 10 c/11
S32	205 x 245	25	65	44,23	22 Ø 16 c/11	28,23	23 Ø 12,5 c/9
S33	180 x 220	20	60	33,13	27 Ø 12,5 c/8	19,63	12 Ø 10 c/12
S34	180 x 220	20	60	33,13	27 Ø 12,5 c/8	19,63	12 Ø 10 c/12
S35	205 x 245	25	65	44,23	22 Ø 16 c/11	28,23	23 Ø 12,5 c/9
S36	150 x 165	15	45	12,57	16 Ø 10 c/10	11,00	14 Ø 10 c/11
S37	120 x 140	15	40	8,55	17 Ø 8 c/8	6,03	12 Ø 8 c/10
S38	165 x 175	20	50	17,28	22 Ø 10 c/8	14,14	18 Ø 10 c/9
S39	135 x 150	15	40	9,42	12 Ø 10 c/12	7,54	15 Ø 8 c/9
S40	135 x 150	15	40	9,42	12 Ø 10 c/12	7,54	15 Ø 8 c/9
S41	165 x 175	20	50	17,28	22 Ø 10 c/8	14,14	18 Ø 10 c/9
S42	120 x 140	15	40	8,55	17 Ø 8 c/8	6,03	12 Ø 8 c/10

Fonte: Autores (2018).

#### 4.2.2 Interação Solo-Estrutura – Solo 1

Assim como no item 4.1.3, foram calculados os coeficientes elásticos para o solo em questão. Sendo a pressão admissível do solo ( $\sigma_s$ ) de 1,73 kgf/cm<sup>2</sup> e através da Tabela 2, pode-se concluir que o coeficiente de recalque ( $k_v$ ) encontra-se entre 3,46 kgf/cm<sup>3</sup> e 3,55 kgf/cm<sup>3</sup>, contudo será utilizado 3,46 kgf/cm<sup>3</sup>.

Tabela 15 - Coeficientes elásticos das fundações – Multifamiliar Solo 1

SAPATAS	B (m)	H (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Ix (m <sup>4</sup> )	Iy (m <sup>4</sup> )	k <sub>v</sub> (kgf/m <sup>3</sup> )
S01	1,20	1,40	1,68	0,274	0,202	3.460.000
S02	1,60	1,80	2,88	0,778	0,614	3.460.000
S03	1,35	1,50	2,03	0,380	0,308	3.460.000
S04	1,35	1,50	2,03	0,380	0,308	3.460.000
S05	1,60	1,80	2,88	0,778	0,614	3.460.000
S06	1,20	1,40	1,68	0,274	0,202	3.460.000
S07	1,50	1,65	2,48	0,562	0,464	3.460.000
S08	2,05	2,40	4,92	2,362	1,723	3.460.000
S09	1,80	2,20	3,96	1,597	1,069	3.460.000

SAPATAS	B (m)	H (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Ix (m <sup>4</sup> )	Iy (m <sup>4</sup> )	kv (kgf/m <sup>3</sup> )
S10	1,80	2,20	3,96	1,597	1,069	3.460.000
S11	2,05	2,40	4,92	2,362	1,723	3.460.000
S12	1,50	1,65	2,48	0,562	0,464	3.460.000
S13	1,05	1,25	1,31	0,171	0,121	3.460.000
S14	1,65	2,05	3,38	1,185	0,767	3.460.000
S16	1,70	2,10	3,57	1,312	0,860	3.460.000
S17	1,70	2,10	3,57	1,312	0,860	3.460.000
S19	1,65	2,10	3,47	1,273	0,786	3.460.000
S20	1,05	1,25	1,31	0,171	0,121	3.460.000
S21	1,85	2,25	4,16	1,756	1,187	3.460.000
S22	1,85	2,25	4,16	1,756	1,187	3.460.000
S23	1,05	1,25	1,31	0,171	0,121	3.460.000
S24	1,70	2,00	3,40	1,133	0,819	3.460.000
S26	1,65	2,05	3,38	1,185	0,767	3.460.000
S27	1,65	2,05	3,38	1,185	0,767	3.460.000
S29	1,70	2,00	3,40	1,133	0,819	3.460.000
S30	1,05	1,25	1,31	0,171	0,121	3.460.000
S31	1,50	1,65	2,48	0,562	0,464	3.460.000
S32	2,05	2,45	5,02	2,512	1,759	3.460.000
S33	1,80	2,20	3,96	1,597	1,069	3.460.000
S34	1,80	2,20	3,96	1,597	1,069	3.460.000
S35	2,05	2,45	5,02	2,512	1,759	3.460.000
S36	1,50	1,65	2,48	0,562	0,464	3.460.000
S37	1,20	1,40	1,68	0,274	0,202	3.460.000
S38	1,65	1,75	2,89	0,737	0,655	3.460.000
S39	1,35	1,50	2,03	0,380	0,308	3.460.000
S40	1,35	1,50	2,03	0,380	0,308	3.460.000
S41	1,65	1,75	2,89	0,737	0,655	3.460.000
S42	1,20	1,40	1,68	0,274	0,202	3.460.000

SAPATAS	Kx (kgf/m)	Ky (kgf/m)	Kz (kgf/m)	Krx (kgfm/rad)	Kry (kgfm/rad)
S01	5.812.800	5.812.800	5.812.800	949.424	697.536
S02	9.964.800	9.964.800	9.964.800	2.690.496	2.125.824
S03	7.006.500	7.006.500	7.006.500	1.313.719	1.064.112
S04	7.006.500	7.006.500	7.006.500	1.313.719	1.064.112
S05	9.964.800	9.964.800	9.964.800	2.690.496	2.125.824
S06	5.812.800	5.812.800	5.812.800	949.424	697.536
S07	8.563.500	8.563.500	8.563.500	1.942.844	1.605.656
S08	17.023.200	17.023.200	17.023.200	8.171.136	5.961.667
S09	13.701.600	13.701.600	13.701.600	5.526.312	3.699.432
S10	13.701.600	13.701.600	13.701.600	5.526.312	3.699.432



SAPATAS	Kx (kgf/m)	Ky (kgf/m)	Kz (kgf/m)	Krx (kgfm/rad)	Kry (kgfm/rad)
S11	17.023.200	17.023.200	17.023.200	8.171.136	5.961.667
S12	8.563.500	8.563.500	8.563.500	1.942.844	1.605.656
S13	4.541.250	4.541.250	4.541.250	591.309	417.227
S14	11.703.450	11.703.450	11.703.450	4.098.646	2.655.220
S16	12.352.200	12.352.200	12.352.200	4.539.434	2.974.822
S17	12.352.200	12.352.200	12.352.200	4.539.434	2.974.822
S19	11.988.900	11.988.900	11.988.900	4.405.921	2.719.982
S20	4.541.250	4.541.250	4.541.250	591.309	417.227
S21	14.402.250	14.402.250	14.402.250	6.075.949	4.107.642
S22	14.402.250	14.402.250	14.402.250	6.075.949	4.107.642
S23	4.541.250	4.541.250	4.541.250	591.309	417.227
S24	11.764.000	11.764.000	11.764.000	3.921.333	2.833.163
S26	11.703.450	11.703.450	11.703.450	4.098.646	2.655.220
S27	11.703.450	11.703.450	11.703.450	4.098.646	2.655.220
S29	11.764.000	11.764.000	11.764.000	3.921.333	2.833.163
S30	4.541.250	4.541.250	4.541.250	591.309	417.227
S31	8.563.500	8.563.500	8.563.500	1.942.844	1.605.656
S32	17.377.850	17.377.850	17.377.850	8.692.545	6.085.868
S33	13.701.600	13.701.600	13.701.600	5.526.312	3.699.432
S34	13.701.600	13.701.600	13.701.600	5.526.312	3.699.432
S35	17.377.850	17.377.850	17.377.850	8.692.545	6.085.868
S36	8.563.500	8.563.500	8.563.500	1.942.844	1.605.656
S37	5.812.800	5.812.800	5.812.800	949.424	697.536
S38	9.990.750	9.990.750	9.990.750	2.549.723	2.266.651
S39	7.006.500	7.006.500	7.006.500	1.313.719	1.064.112
S40	7.006.500	7.006.500	7.006.500	1.313.719	1.064.112
S41	9.990.750	9.990.750	9.990.750	2.549.723	2.266.651
S42	5.812.800	5.812.800	5.812.800	949.424	697.536

Fonte: Autores (2018).

As Tabelas 18 e 19 apresentam o resultado do dimensionamento dos pilares e sapatas da estrutura.

**Tabela 16 - Pilares – Multifamiliar apoio elástico Solo 1**

Baldrame				
Pilar	Seção (cm)	Área de aço (cm <sup>2</sup> )	Aço (mm)	Estribos
P01	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P02	14 x 30	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10

<b>Baldrame</b>				
<b>Pilar</b>	<b>Seção (cm)</b>	<b>Área de aço (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Aço (mm)</b>	<b>Estribos</b>
P03	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P04	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P05	14 x 30	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P06	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P07	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P08	14 x 50	12,06	6 Ø 16	Ø 5 c/12,5
P09	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P10	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P11	14 x 50	12,06	6 Ø 16	Ø 5 c/12,5
P12	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P13	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P14	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P16	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P17	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P19	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P20	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P21	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P22	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P23	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P24	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P26	14 x 50	12,56	16 Ø 10	Ø 5 c/10
P27	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P29	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P30	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P31	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P32	14 x 50	16,08	8 Ø 16	Ø 5 c/12,5
P33	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P34	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P35	14 x 50	16,08	8 Ø 16	Ø 5 c/12,5
P36	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P37	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P38	14 x 30	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P39	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P40	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P41	14 x 30	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P42	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10

Tipo				
Pilar	Seção (cm)	Área de aço (cm <sup>2</sup> )	Aço (mm)	Estribos
P01	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P02	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P03	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P04	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P05	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P06	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P07	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P08	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P09	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P10	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P11	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P12	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P13	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P14	14 x 30	6,28	8 Ø 10	Ø 5 c/10
P15	14 x 50	12,56	16 Ø 10	Ø 5 c/10
P16	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P17	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P18	14 x 50	12,56	16 Ø 10	Ø 5 c/10
P19	14 x 30	6,28	8 Ø 10	Ø 5 c/10
P20	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P21	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P22	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P23	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P24	14 x 30	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P25	14 x 50	9,42	12 Ø 10	Ø 5 c/10
P26	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P27	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P28	14 x 50	12,56	16 Ø 10	Ø 5 c/10
P29	14 x 30	6,28	8 Ø 10	Ø 5 c/10
P30	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P31	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P32	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P33	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P34	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P35	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P36	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P37	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P38	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P39	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P40	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P41	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P42	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10

Cobertura				
Pilar	Seção (cm)	Área de aço (cm <sup>2</sup> )	Aço (mm)	Estribos
P01	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P02	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P03	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P04	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P05	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P06	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P07	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P08	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P09	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P10	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P11	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P12	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P13	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P14	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P15	14 x 50	12,56	12 Ø 10	Ø 5 c/10
P16	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P17	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P18	14 x 50	7,85	10 Ø 10	Ø 5 c/10
P19	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P20	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P21	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P22	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P23	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P24	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P25	14 x 50	7,85	10 Ø 10	Ø 5 c/10
P26	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P27	14 x 50	6,28	8 Ø 10	Ø 5 c/10
P28	14 x 50	7,85	10 Ø 10	Ø 5 c/10
P29	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P30	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P31	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P32	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P33	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P34	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P35	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P36	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P37	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P38	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P39	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P40	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P41	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P42	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10

Fonte: Autores (2018).

Tabela 17 - Fundações - Multifamiliar apoio elástico Solo 1

Sapata	Seção (cm)	H0 (cm)	H1 (cm)	Área de aço base (cm <sup>2</sup> )	Aço (mm)	Área de aço altura (cm <sup>2</sup> )	Aço (mm)
S01	120 x 140	15	40	8,55	17 Ø 8 c/8	6,03	12 Ø 8 c/10
S02	160 x 180	20	50	17,28	22 Ø 10 c/8	14,14	18 Ø 10 c/9
S03	135 x 150	15	40	9,42	12 Ø 10 c/12	7,54	15 Ø 8 c/9
S04	135 x 145	15	40	9,05	18 Ø 8 c/8	7,54	15 Ø 8 c/9
S05	160 x 180	20	50	17,28	22 Ø 10 c/8	14,14	18 Ø 10 c/9
S06	120 x 135	15	35	7,54	15 Ø 8 c/9	5,53	11 Ø 8 c/11
S07	150 x 160	15	45	12,57	16 Ø 10 c/10	11,00	14 Ø 10 c/11
S08	205 x 240	25	65	44,23	22 Ø 16 c/11	28,23	23 Ø 12,5 c/9
S09	180 x 220	20	60	33,13	27 Ø 12,5 c/8	19,63	16 Ø 12,5 c/11
S10	180 x 220	20	60	33,13	27 Ø 12,5 c/8	19,63	16 Ø 12,5 c/11
S11	205 x 240	20	65	44,23	22 Ø 16 c/11	28,23	23 Ø 12,5 c/9
S12	150 x 160	15	45	12,57	16 Ø 10 c/10	11,00	14 Ø 10 c/11
S13	105 x 125	15	35	6,03	12 Ø 8 c/10	4,52	9 Ø 8 c/12
S14	165 x 205	20	55	24,54	20 Ø 12,5 c/10	15,71	20 Ø 10 c/8
S16	175 x 210	20	55	28,23	23 Ø 12,5 c/9	17,28	22 Ø 10 c/8
S17	170 x 210	20	55	28,23	23 Ø 12,5 c/9	16,49	21 Ø 10 c/8
S19	165 x 205	20	55	24,54	20 Ø 12,5 c/10	15,71	20 Ø 10 c/8
S20	105 x 125	15	35	6,03	12 Ø 8 c/10	4,52	9 Ø 8 c/12
S21	175 x 215	20	55	29,45	24 Ø 12,5 c/9	17,28	22 Ø 10 c/8
S22	185 x 220	20	60	33,13	27 Ø 12,5 c/8	20,86	17 Ø 12,5 c/11
S23	105 x 125	15	35	6,03	12 Ø 8 c/10	4,52	9 Ø 8 c/12
S24	165 x 200	20	50	22,09	18 Ø 12,5 c/11	14,14	18 Ø 10 c/9
S26	195 x 235	20	65	40,21	20 Ø 16 c/12	25,77	21 Ø 12,5 c/9
S27	160 x 195	20	50	22,09	18 Ø 12,5 c/11	14,14	18 Ø 10 c/9
S29	165 x 205	20	55	24,54	20 Ø 12,5 c/10	15,71	20 Ø 10 c/8
S30	105 x 125	15	35	6,03	12 Ø 8 c/10	4,52	9 Ø 8 c/12
S31	150 x 165	15	45	12,57	16 Ø 10 c/10	11,00	14 Ø 10 c/11
S32	205 x 245	25	65	44,23	22 Ø 16 c/11	28,23	23 Ø 12,5 c/9
S33	175 x 210	25	55	28,23	23 Ø 12,5 c/9	17,28	22 Ø 10 c/8
S34	180 x 220	20	60	33,13	27 Ø 12,5 c/8	19,63	16 Ø 12,5 c/11
S35	205 x 245	25	65	44,23	22 Ø 16 c/11	28,23	23 Ø 12,5 c/9
S36	150 x 160	15	45	12,57	16 Ø 10 c/10	11,00	14 Ø 10 c/11
S37	120 x 140	15	40	8,55	17 Ø 8 c/8	6,03	12 Ø 8 c/10
S38	160 x 180	20	50	17,28	22 Ø 10 c/8	14,14	18 Ø 10 c/9
S39	135 x 150	15	40	9,42	12 Ø 10 c/12	7,54	15 Ø 8 c/9
S40	135 x 150	15	40	9,42	12 Ø 10 c/12	7,54	15 Ø 8 c/9
S41	160 x 180	20	50	17,28	22 Ø 10 c/8	14,14	18 Ø 10 c/9
S42	120 x 140	15	40	8,55	17 Ø 8 c/8	6,03	12 Ø 8 c/10

Fonte: Autores (2018).

## 4.2.3 Método Convencional – Solo 2

Utilizando o mesmo método do item 4.1.1, os apoios de fundação foram considerados totalmente engastado, alterando apenas os parâmetros do solo em que as fundações estão inseridas. As Tabelas 15 e 16 apontam o resultado do dimensionamento dos pilares e sapatas da estrutura.

Tabela 18 - Pilares – Multifamiliar apoio rígido Solo 2

<b>Baldrame</b>				
<b>Pilar</b>	<b>Seção (cm)</b>	<b>Área de aço (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Aço (mm)</b>	<b>Estribos</b>
P01	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P02	14 x 30	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P03	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P04	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P05	14 x 30	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P06	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P07	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P08	14 x 50	12,06	6 Ø 16	Ø 5 c/12,5
P09	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P10	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P11	14 x 50	12,06	6 Ø 16	Ø 5 c/12,5
P12	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P13	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P14	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P16	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P17	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P19	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P20	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P21	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P22	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P23	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P24	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P26	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P27	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P29	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P30	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P31	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P32	14 x 50	16,08	8 Ø 16	Ø 5 c/12,5
P33	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P34	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P35	14 x 50	16,08	8 Ø 16	Ø 5 c/12,5

<b>Baldrame</b>				
<b>Pilar</b>	<b>Seção (cm)</b>	<b>Área de aço (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Aço (mm)</b>	<b>Estribos</b>
P36	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P37	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P38	14 x 30	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P39	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P40	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P41	14 x 30	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P42	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10

<b>Tipo</b>				
<b>Pilar</b>	<b>Seção (cm)</b>	<b>Área de aço (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Aço (mm)</b>	<b>Estribos</b>
P01	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P02	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P03	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P04	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P05	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P06	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P07	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P08	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P09	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P10	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P11	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P12	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P13	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P14	14 x 30	6,28	8 Ø 10	Ø 5 c/10
P15	14 x 50	10,99	14 Ø 10	Ø 5 c/10
P16	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P17	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P18	14 x 50	10,99	14 Ø 10	Ø 5 c/10
P19	14 x 30	6,28	8 Ø 10	Ø 5 c/10
P20	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P21	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P22	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P23	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P24	14 x 30	6,28	8 Ø 10	Ø 5 c/10
P25	14 x 50	10,99	14 Ø 10	Ø 5 c/10
P26	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P27	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P28	14 x 50	10,99	14 Ø 10	Ø 5 c/10
P29	14 x 30	6,28	8 Ø 10	Ø 5 c/10
P30	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10

Pilar	Seção (cm)	Tipo		
		Área de aço (cm <sup>2</sup> )	Aço (mm)	Estribos
P31	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P32	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P33	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P34	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P35	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P36	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P37	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P38	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P39	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P40	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P41	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P42	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10

Cobertura				
Pilar	Seção (cm)	Área de aço (cm <sup>2</sup> )	Aço (mm)	Estribos
P01	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P02	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P03	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P04	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P05	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P06	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P07	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P08	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P09	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P10	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P11	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P12	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P13	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P14	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P15	14 x 50	7,85	10 Ø 10	Ø 5 c/10
P16	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P17	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P18	14 x 50	7,85	10 Ø 10	Ø 5 c/10
P19	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P20	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P21	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P22	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P23	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P24	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P25	14 x 50	7,85	10 Ø 10	Ø 5 c/10



Pilar	Seção (cm)	Cobertura		
		Área de aço (cm <sup>2</sup> )	Aço (mm)	Estribos
P26	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P27	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P28	14 x 50	7,85	10 Ø 10	Ø 5 c/10
P29	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P30	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P31	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P32	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P33	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P34	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P35	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P36	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P37	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P38	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P39	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P40	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P41	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P42	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10

Fonte: Autores (2018).

Tabela 19 - Fundações - Multifamiliar apoio rígido Solo 2

Sapata	Seção (cm)	H0 (cm)	H1 (cm)	Área de aço base (cm <sup>2</sup> )	Aço (mm)	Área de aço altura (cm <sup>2</sup> )	Aço (mm)
S01	80 x 95	25	25	3,74	12 Ø 6,3 c/8	3,12	10 Ø 6,3 c/8
S02	105 x 120	15	30	5,53	11 Ø 8 c/11	4,52	9 Ø 8 c/12
S03	85 x 105	25	25	4,05	13 Ø 6,3 c/8	3,12	10 Ø 6,3 c/8
S04	85 x 105	25	25	4,05	13 Ø 6,3 c/8	3,12	10 Ø 6,3 c/8
S05	105 x 120	15	30	5,53	11 Ø 8 c/11	4,52	9 Ø 8 c/12
S06	80 x 95	25	25	3,74	12 Ø 6,3 c/8	3,12	10 Ø 6,3 c/8
S07	95 x 115	15	30	5,03	10 Ø 8 c/12	4,02	8 Ø 8 c/12
S08	130 x 170	15	40	13,35	17 Ø 10 c/10	8,04	16 Ø 8 c/8
S09	115 x 155	15	35	9,55	19 Ø 8 c/8	6,53	13 Ø 8 c/9
S10	115 x 155	15	35	9,55	19 Ø 8 c/8	6,53	13 Ø 8 c/9
S11	130 x 170	15	40	13,35	17 Ø 10 c/10	8,04	16 Ø 8 c/8
S12	95 x 115	15	30	5,03	10 Ø 8 c/12	4,02	8 Ø 8 c/12
S13	70 x 85	25	25	3,12	10 Ø 6,3 c/8	2,49	8 Ø 6,3 c/8
S14	110 x 145	15	35	9,05	18 Ø 8 c/8	4,52	9 Ø 8 c/12
S16	110 x 150	15	35	9,05	18 Ø 8 c/8	5,53	11 Ø 8 c/12
S17	110 x 150	15	35	9,05	18 Ø 8 c/8	5,53	11 Ø 8 c/12
S19	110 x 145	15	35	9,05	18 Ø 8 c/8	4,52	9 Ø 8 c/12

Sapata	Seção (cm)	H0 (cm)	H1 (cm)	Área de aço base (cm <sup>2</sup> )	Aço (mm)	Área de aço altura (cm <sup>2</sup> )	Aço (mm)
S20	70 x 85	25	25	3,12	10 Ø 6,3 c/8	2,49	8 Ø 6,3 c/8
S21	120 x 155	15	35	9,55	19 Ø 8 c/8	6,53	13 Ø 8 c/9
S22	120 x 155	15	35	9,55	19 Ø 8 c/8	6,53	13 Ø 8 c/9
S23	70 x 85	25	25	3,12	10 Ø 6,3 c/8	2,49	8 Ø 6,3 c/8
S24	110 x 145	15	35	9,05	18 Ø 8 c/8	4,52	9 Ø 8 c/12
S26	110 x 140	15	35	8,55	17 Ø 8 c/8	4,52	9 Ø 8 c/12
S27	110 x 140	15	35	8,55	17 Ø 8 c/8	4,52	9 Ø 8 c/12
S29	110 x 145	15	35	9,05	18 Ø 8 c/8	4,52	9 Ø 8 c/12
S30	70 x 85	25	25	3,12	10 Ø 6,3 c/8	2,49	8 Ø 6,3 c/8
S31	95 x 115	15	30	5,03	10 Ø 8 c/12	4,02	8 Ø 8 c/12
S32	135 x 165	15	40	12,57	16 Ø 10 c/10	7,54	15 Ø 8 c/9
S33	115 x 155	15	35	9,55	19 Ø 8 c/8	6,53	13 Ø 8 c/9
S34	115 x 155	15	35	9,55	19 Ø 8 c/8	6,53	13 Ø 8 c/9
S35	135 x 165	15	35	12,57	16 Ø 10 c/10	7,54	15 Ø 8 c/9
S36	95 x 115	15	30	5,03	10 Ø 8 c/12	4,02	8 Ø 8 c/12
S37	80 x 95	25	25	3,74	12 Ø 6,3 c/8	3,12	10 Ø 6,3 c/8
S38	105 x 125	15	35	6,03	12 Ø 8 c/10	4,52	9 Ø 8 c/12
S39	85 x 105	25	25	4,05	13 Ø 6,3 c/8	3,52	7 Ø 8 c/12
S40	85 x 105	25	25	4,05	13 Ø 6,3 c/8	3,52	7 Ø 8 c/12
S41	105 x 125	15	35	6,03	12 Ø 8 c/10	4,52	9 Ø 8 c/12
S42	80 x 95	25	25	3,74	12 Ø 6,3 c/8	3,12	10 Ø 6,3 c/8

Fonte: Autores (2018).

#### 4.2.4 Interação Solo-Estrutura – Solo 2

Do mesmo modo que no item 4.2.3, foram calculados os coeficientes elásticos para o Solo 2. Sendo a pressão admissível do solo ( $\sigma_s$ ) de 3,00 kgf/cm<sup>2</sup> e através da Tabela 2, pode-se concluir que o coeficiente de recalque ( $k_v$ ) é 6,00 kgf/cm<sup>3</sup>.

Tabela 20 - Coeficientes elásticos das fundações – Multifamiliar Solo 2

SAPATAS	B (m)	H (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Ix (m <sup>4</sup> )	Iy (m <sup>4</sup> )	k <sub>v</sub> (kgf/m <sup>3</sup> )
S01	0,80	0,95	0,76	0,057	0,041	6.000.000
S02	1,05	1,20	1,26	0,151	0,116	6.000.000
S03	0,85	1,05	0,89	0,082	0,054	6.000.000
S04	0,85	1,05	0,89	0,082	0,054	6.000.000
S05	1,05	1,20	1,26	0,151	0,116	6.000.000
S06	0,80	0,95	0,76	0,057	0,041	6.000.000

SAPATAS	B (m)	H (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Ix (m <sup>4</sup> )	Iy (m <sup>4</sup> )	kv (kgf/m <sup>3</sup> )
S07	0,95	1,15	1,09	0,120	0,082	6.000.000
S08	1,30	1,70	2,21	0,532	0,311	6.000.000
S09	1,15	1,55	1,78	0,357	0,196	6.000.000
S10	1,15	1,55	1,78	0,357	0,196	6.000.000
S11	1,30	1,70	2,21	0,532	0,311	6.000.000
S12	0,95	1,15	1,09	0,120	0,082	6.000.000
S13	0,70	0,85	0,60	0,036	0,024	6.000.000
S14	1,10	1,45	1,60	0,279	0,161	6.000.000
S16	1,10	1,50	1,65	0,309	0,166	6.000.000
S17	1,10	1,50	1,65	0,309	0,166	6.000.000
S19	1,10	1,45	1,60	0,279	0,161	6.000.000
S20	0,70	0,85	0,60	0,036	0,024	6.000.000
S21	1,20	1,55	1,86	0,372	0,223	6.000.000
S22	1,20	1,55	1,86	0,372	0,223	6.000.000
S23	0,70	0,85	0,60	0,036	0,024	6.000.000
S24	1,10	1,45	1,60	0,279	0,161	6.000.000
S26	1,10	1,40	1,54	0,252	0,155	6.000.000
S27	1,10	1,40	1,54	0,252	0,155	6.000.000
S29	1,10	1,45	1,60	0,279	0,161	6.000.000
S30	0,70	0,85	0,60	0,036	0,024	6.000.000
S31	0,95	1,15	1,09	0,120	0,082	6.000.000
S32	1,35	1,65	2,23	0,505	0,338	6.000.000
S33	1,15	1,55	1,78	0,357	0,196	6.000.000
S34	1,15	1,55	1,78	0,357	0,196	6.000.000
S35	1,35	1,65	2,23	0,505	0,338	6.000.000
S36	0,95	1,15	1,09	0,120	0,082	6.000.000
S37	0,80	0,95	0,76	0,057	0,041	6.000.000
S38	1,05	1,25	1,31	0,171	0,121	6.000.000
S39	0,85	1,05	0,89	0,082	0,054	6.000.000
S40	0,85	1,05	0,89	0,082	0,054	6.000.000
S41	1,05	1,25	1,31	0,171	0,121	6.000.000
S42	0,80	0,95	0,76	0,057	0,041	6.000.000

SAPATAS	Kx (kgf/m)	Ky (kgf/m)	Kz (kgf/m)	Krx (kgfm/rad)	Kry (kgfm/rad)
S01	4.560.000	4.560.000	4.560.000	342.950	243.200
S02	7.560.000	7.560.000	7.560.000	907.200	694.575
S03	5.355.000	5.355.000	5.355.000	491.991	322.416
S04	5.355.000	5.355.000	5.355.000	491.991	322.416
S05	7.560.000	7.560.000	7.560.000	907.200	694.575
S06	4.560.000	4.560.000	4.560.000	342.950	243.200
S07	6.555.000	6.555.000	6.555.000	722.416	492.991
S08	13.260.000	13.260.000	13.260.000	3.193.450	1.867.450
S09	10.695.000	10.695.000	10.695.000	2.141.228	1.178.678

SAPATAS	Kx (kgf/m)	Ky (kgf/m)	Kz (kgf/m)	Krx (kgfm/rad)	Kry (kgfm/rad)
S10	10.695.000	10.695.000	10.695.000	2.141.228	1.178.678
S11	13.260.000	13.260.000	13.260.000	3.193.450	1.867.450
S12	6.555.000	6.555.000	6.555.000	722.416	492.991
S13	3.570.000	3.570.000	3.570.000	214.944	145.775
S14	9.570.000	9.570.000	9.570.000	1.676.744	964.975
S16	9.900.000	9.900.000	9.900.000	1.856.250	998.250
S17	9.900.000	9.900.000	9.900.000	1.856.250	998.250
S19	9.570.000	9.570.000	9.570.000	1.676.744	964.975
S20	3.570.000	3.570.000	3.570.000	214.944	145.775
S21	11.160.000	11.160.000	11.160.000	2.234.325	1.339.200
S22	11.160.000	11.160.000	11.160.000	2.234.325	1.339.200
S23	3.570.000	3.570.000	3.570.000	214.944	145.775
S24	9.570.000	9.570.000	9.570.000	1.676.744	964.975
S26	9.240.000	9.240.000	9.240.000	1.509.200	931.700
S27	9.240.000	9.240.000	9.240.000	1.509.200	931.700
S29	9.570.000	9.570.000	9.570.000	1.676.744	964.975
S30	3.570.000	3.570.000	3.570.000	214.944	145.775
S31	6.555.000	6.555.000	6.555.000	722.416	492.991
S32	13.365.000	13.365.000	13.365.000	3.032.184	2.029.809
S33	10.695.000	10.695.000	10.695.000	2.141.228	1.178.678
S34	10.695.000	10.695.000	10.695.000	2.141.228	1.178.678
S35	13.365.000	13.365.000	13.365.000	3.032.184	2.029.809
S36	6.555.000	6.555.000	6.555.000	722.416	492.991
S37	4.560.000	4.560.000	4.560.000	342.950	243.200
S38	7.875.000	7.875.000	7.875.000	1.025.391	723.516
S39	5.355.000	5.355.000	5.355.000	491.991	322.416
S40	5.355.000	5.355.000	5.355.000	491.991	322.416
S41	7.875.000	7.875.000	7.875.000	1.025.391	723.516
S42	4.560.000	4.560.000	4.560.000	342.950	243.200

Fonte: Autores (2018).

As Tabelas 21 e 22 apresentam o resultado do dimensionamento dos pilares e sapatas da estrutura.

**Tabela 21 - Pilares – Multifamiliar apoio elástico Solo 2**

Baldrame				
Pilar	Seção (cm)	Área de aço (cm <sup>2</sup> )	Aço (mm)	Estribos
P01	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P02	14 x 30	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P03	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10

<b>Baldrame</b>				
<b>Pilar</b>	<b>Seção (cm)</b>	<b>Área de aço (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Aço (mm)</b>	<b>Estribos</b>
P04	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P05	14 x 30	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P06	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P07	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P08	14 x 50	12,06	6 Ø 16	Ø 5 c/12,5
P09	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P10	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P11	14 x 50	7,85	10 Ø 10	Ø 5 c/10
P12	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P13	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P14	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P16	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P17	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P19	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P20	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P21	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P22	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P23	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P24	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P26	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P27	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P29	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P30	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P31	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P32	14 x 50	16,08	8 Ø 16	Ø 5 c/12,5
P33	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P34	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P35	14 x 50	12,06	6 Ø 16	Ø 5 c/12,5
P36	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P37	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P38	14 x 30	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P39	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P40	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P41	14 x 30	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P42	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10

Tipo				
Pilar	Seção (cm)	Área de aço (cm <sup>2</sup> )	Aço (mm)	Estribos
P01	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P02	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P03	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P04	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P05	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P06	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P07	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P08	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P09	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P10	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P11	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P12	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P13	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P14	14 x 30	6,28	8 Ø 10	Ø 5 c/10
P15	14 x 50	10,99	14 Ø 10	Ø 5 c/10
P16	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P17	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P18	14 x 50	10,99	14 Ø 10	Ø 5 c/10
P19	14 x 30	6,28	8 Ø 10	Ø 5 c/10
P20	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P21	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P22	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P23	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P24	14 x 30	6,28	8 Ø 10	Ø 5 c/10
P25	14 x 50	10,99	14 Ø 10	Ø 5 c/10
P26	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P27	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P28	14 x 50	10,99	14 Ø 10	Ø 5 c/10
P29	14 x 30	6,28	8 Ø 10	Ø 5 c/10
P30	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P31	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P32	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P33	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P34	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P35	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P36	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P37	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P38	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P39	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P40	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P41	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P42	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10

Cobertura				
Pilar	Seção (cm)	Área de aço (cm <sup>2</sup> )	Aço (mm)	Estribos
P01	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P02	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P03	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P04	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P05	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P06	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P07	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P08	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P09	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P10	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P11	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P12	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P13	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P14	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P15	14 x 50	7,85	10 Ø 10	Ø 5 c/10
P16	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P17	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P18	14 x 50	7,85	10 Ø 10	Ø 5 c/10
P19	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P20	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P21	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P22	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P23	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P24	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P25	14 x 50	7,85	10 Ø 10	Ø 5 c/10
P26	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P27	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P28	14 x 50	7,85	10 Ø 10	Ø 5 c/10
P29	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P30	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P31	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P32	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P33	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P34	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P35	14 x 50	4,71	6 Ø 10	Ø 5 c/10
P36	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P37	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P38	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P39	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P40	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P41	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10
P42	14 x 30	3,14	4 Ø 10	Ø 5 c/10

Fonte: Autores (2018).

Tabela 22 - Fundações - Multifamiliar apoio elástico Solo 2

Sapata	Seção (cm)	H0 (cm)	H1 (cm)	Área de aço base (cm <sup>2</sup> )	Aço (mm)	Área de aço altura (cm <sup>2</sup> )	Aço (mm)
S01	80 x 95	25	25	3,74	12 Ø 6,3 c/8	3,12	10 Ø 6,3 c/8
S02	105 x 120	15	30	5,53	11 Ø 8 c/11	4,52	9 Ø 8 c/11
S03	85 x 105	25	25	4,05	13 Ø 6,3 c/8	3,12	10 Ø 6,3 c/8
S04	85 x 105	25	25	4,05	13 Ø 6,3 c/8	3,12	10 Ø 6,3 c/8
S05	105 x 120	15	30	5,53	11 Ø 8 c/11	4,52	9 Ø 8 c/11
S06	80 x 95	25	25	3,74	12 Ø 6,3 c/8	3,12	10 Ø 6,3 c/8
S07	95 x 115	15	30	5,03	10 Ø 8 c/12	4,02	9 Ø 8 c/11
S08	130 x 170	15	40	13,35	17 Ø 10 c/10	8,04	16 Ø 8 c/8
S09	115 x 155	15	35	9,55	19 Ø 8 c/8	6,53	13 Ø 8 c/9
S10	115 x 155	15	35	9,55	19 Ø 8 c/8	6,53	13 Ø 8 c/9
S11	130 x 170	15	40	13,35	17 Ø 10 c/10	8,04	16 Ø 8 c/8
S12	95 x 115	15	30	5,03	10 Ø 8 c/12	4,02	9 Ø 8 c/11
S13	70 x 85	25	25	3,12	10 Ø 6,3 c/8	2,49	8 Ø 6,3 c/8
S14	105 x 145	15	35	9,05	18 Ø 8 c/8	4,52	9 Ø 8 c/11
S16	110 x 150	15	35	9,05	18 Ø 8 c/8	5,53	11 Ø 8 c/10
S17	110 x 150	15	35	9,05	18 Ø 8 c/8	5,53	11 Ø 8 c/10
S19	105 x 145	15	35	9,05	18 Ø 8 c/8	4,52	9 Ø 8 c/11
S20	70 x 85	25	25	3,12	10 Ø 6,3 c/8	2,49	8 Ø 6,3 c/8
S21	120 x 155	15	35	9,55	19 Ø 8 c/8	6,53	13 Ø 8 c/9
S22	120 x 155	15	35	9,55	19 Ø 8 c/8	6,53	13 Ø 8 c/9
S23	70 x 85	25	25	3,12	10 Ø 6,3 c/8	2,49	8 Ø 6,3 c/8
S24	110 x 140	15	35	8,55	17 Ø 8 c/8	4,52	9 Ø 8 c/11
S26	105 x 145	15	35	9,05	18 Ø 8 c/8	4,52	9 Ø 8 c/11
S27	105 x 145	15	35	9,05	18 Ø 8 c/8	4,52	9 Ø 8 c/11
S29	110 x 140	15	35	8,55	17 Ø 8 c/8	4,52	9 Ø 8 c/11
S30	70 x 85	25	25	3,12	10 Ø 6,3 c/8	2,49	8 Ø 6,3 c/8
S31	95 x 115	15	30	5,03	10 Ø 8 c/12	4,02	9 Ø 8 c/11
S32	135 x 165	15	40	12,57	16 Ø 10 c/10	7,54	14 Ø 8 c/9
S33	115 x 155	15	35	9,55	19 Ø 8 c/8	6,53	13 Ø 8 c/9
S34	115 x 155	15	35	9,55	19 Ø 8 c/8	6,53	13 Ø 8 c/9
S35	135 x 165	15	40	12,57	16 Ø 10 c/10	7,54	14 Ø 8 c/9
S36	95 x 115	15	30	5,03	10 Ø 8 c/12	4,02	9 Ø 8 c/11
S37	80 x 95	25	25	3,74	12 Ø 6,3 c/8	3,12	10 Ø 6,3 c/8
S38	105 x 125	15	35	6,03	12 Ø 8 c/10	4,52	9 Ø 8 c/11
S39	85 x 105	25	25	4,05	13 Ø 6,3 c/8	3,52	7 Ø 8 c/12
S40	85 x 105	25	25	4,05	13 Ø 6,3 c/8	3,52	7 Ø 8 c/12
S41	105 x 125	15	35	6,03	12 Ø 8 c/10	4,52	9 Ø 8 c/11
S42	80 x 95	25	25	3,74	12 Ø 6,3 c/8	3,12	10 Ø 6,3 c/8

Fonte: Autores (2018).



## 5 ANÁLISE DE RESULTADOS

Após a realização do dimensionamento das estruturas, serão comparados os dois métodos para a moradia unifamiliar e multifamiliar, considerando os dois solos. Os itens 5.1 e 5.2 apresentam a quantidade de aço (em quilogramas), concreto (em metros cúbicos) e área de forma (em metros quadrados) gastos na execução de cada um dos projetos, assim como o volume de terra escavado (em metros cúbicos) para execução das fundações, sendo precificado cada um desses utilizando como parâmetro os custos contidos na tabela Sinapi de Minas Gerais do mês de setembro, ano 2018. A Tabela 23 apresenta o nome, código e preço unitário de cada um dos materiais/serviços considerados para orçamento das edificações.

**Tabela 23 - Preço unitário dos materiais/serviços quantificados**

<b>Material/serviço</b>	<b>Código</b>	<b>Preço mediano</b>
Concreto usinado - C25	1527	R\$ 288,66/m <sup>3</sup>
Concreto usinado - C30	1525	R\$ 298,38/m <sup>3</sup>
Forma de madeira	1346	R\$ 17,29/m <sup>2</sup>
Aço CA60 - 5,0 mm	39	R\$ 4,72/kg
Aço CA50 - 6,3 mm	32	R\$ 4,98/kg
Aço CA50 - 8,0 mm	33	R\$ 5,60/kg
Aço CA50 - 10,0 mm	34	R\$ 4,76/kg
Aço CA50 - 12,5 mm	31	R\$ 4,53/kg
Aço CA50 - 16,0 mm	27	R\$ 4,53/kg
Escavação manual	96523	R\$ 57,95/m <sup>3</sup>

Fonte: Adaptado de Brasil (2018).

### 5.1 UNIFAMILIAR

As Tabelas 24, 25, 26 e 27 apresentam o consumo de concreto, forma, aço e escavação referentes aos dimensionamentos dos projetos unifamiliares para o Solo 1 e Solo 2, assim como os diferentes métodos de cálculo.

Tabela 24 - Quantitativo de materiais – Unifamiliar apoio rígido Solo 1

	Volume de concreto (m <sup>3</sup> )				Total
	Vigas	Pilares	Lajes	Fundações	
<b>Térreo</b>	2,7	1,1	5,8	-	9,6
<b>Baldrame</b>	3,0	0,5	-	1,8	5,3
<b>Total</b>	5,7	1,6	5,8	1,8	<b>14,9</b>

	Área de forma (m <sup>2</sup> )				Total
	Vigas	Pilares	Lajes	Fundações	
<b>Térreo</b>	45,5	22,2	58,3	-	126,0
<b>Baldrame</b>	50,8	9,5	-	6,4	66,7
<b>Total</b>	96,3	31,7	58,3	6,4	<b>192,7</b>

Aço - Peso +10% (kg)						
Aço	Diâmetro (mm)	Vigas	Pilares	Lajes	Fundações	Total
<b>CA50</b>	6,3	-	-	24,0	35,3	59,3
	8	168,6	-	35,5	28,5	232,6
	10	17,3	119,8	-	-	137,1
	12,5	20,5	-	-	-	20,5
<b>CA60</b>	5	74,6	46,2	153,3	-	274,1
<b>Total</b>		281,0	166,0	212,8	63,8	<b>723,6</b>

Sapata	Volume fundação (m <sup>3</sup> )	Volume escavado (m <sup>3</sup> )
S01	0,23	0,28
S02	0,37	0,44
S03	0,23	0,28
S04	0,26	0,31
S05	0,47	0,56
S06	0,26	0,31
S07	0,16	0,19
S08	0,17	0,20
S09	0,16	0,19
<b>Total</b>		<b>2,76</b>

Fonte: Autores (2018).

Tabela 25 - Quantitativo de materiais – Unifamiliar apoio elástico Solo 1

	Volume de concreto (m <sup>3</sup> )				Total
	Vigas	Pilares	Lajes	Fundações	
<b>Térreo</b>	2,7	1,1	5,8	-	9,6
<b>Baldrame</b>	3,0	0,5	-	1,6	5,1
<b>Total</b>	5,7	1,6	5,8	1,6	<b>14,7</b>

	Área de forma (m <sup>2</sup> )				Total
	Vigas	Pilares	Lajes	Fundações	
<b>Térreo</b>	45,5	22,2	58,3	-	126,0
<b>Baldrame</b>	50,8	9,5	-	6,6	66,9
<b>Total</b>	96,3	31,7	58,3	6,6	<b>192,9</b>

Aço - Peso +10% (kg)						
Aço	Diâmetro (mm)	Vigas	Pilares	Lajes	Fundações	Total
<b>CA50</b>	6,3	-	-	24,0	36,2	60,2
	8	168,4	-	35,5	18,7	222,6
	10	26,4	123,3	-	-	149,7
	12,5	10,8	-	-	-	10,8
<b>CA60</b>	5	74,7	48,0	153,3	-	276,0
<b>Total</b>		280,3	171,3	212,8	54,9	<b>719,3</b>

Sapata	Volume fundação (m <sup>3</sup> )	Volume escavado (m <sup>3</sup> )
S01	0,18	0,22
S02	0,28	0,34
S03	0,18	0,22
S04	0,27	0,32
S05	0,41	0,49
S06	0,27	0,32
S07	0,16	0,19
S08	0,16	0,19
S09	0,16	0,19
<b>Total</b>		<b>2,46</b>

Fonte: Autores (2018).

As Tabelas 24 e 25 tratam do mesmo solo, porém enquanto a primeira apresenta os resultados para a fundação apoiada sobre solo rígido, a segunda aponta os dados sobre solo elástico. Com isso, pôde-se observar uma leve redução na quantidade de concreto e também escavação recorrentes à edificação apoiada sobre solo elástico, isso devido à redução do tamanho das sapatas. A maior área de forma

apresentada na edificação elástica é justificada pela ocorrência de sapatas de dimensões diferentes, quando comparadas ao apoio rígido. E por fim, quando ocorre a alteração de apoios na fundação a maioria dos esforços da edificação são alterados, conseqüentemente provocando a alteração da disposição das armaduras de aço dos elementos estruturais (pilares, vigas, lajes, fundações). Considerando este fato, pôde-se observar uma menor quantidade de aço na edificação apoiada com vínculos elásticos.

**Tabela 26 - Quantitativo de materiais – Unifamiliar apoio rígido Solo 2**

<b>Volume de concreto (m³)</b>						
	<b>Vigas</b>	<b>Pilares</b>	<b>Lajes</b>	<b>Fundações</b>	<b>Total</b>	
<b>Térreo</b>	2,7	1,1	5,8	-	9,6	
<b>Baldrame</b>	3,0	0,5	-	1,2	4,7	
<b>Total</b>	5,7	1,6	5,8	1,2	<b>14,3</b>	

<b>Área de forma (m²)</b>						
	<b>Vigas</b>	<b>Pilares</b>	<b>Lajes</b>	<b>Fundações</b>	<b>Total</b>	
<b>Térreo</b>	45,5	22,2	58,3	-	126,0	
<b>Baldrame</b>	50,8	9,5	-	6,5	66,8	
<b>Total</b>	96,3	31,7	58,3	6,5	<b>192,8</b>	

<b>Aço - Peso +10% (kg)</b>						
<b>Aço</b>	<b>Diâmetro (mm)</b>	<b>Vigas</b>	<b>Pilares</b>	<b>Lajes</b>	<b>Fundações</b>	<b>Total</b>
<b>CA50</b>	6,3	-	-	24,0	38,4	62,4
	8	168,6	-	35,5	-	204,1
	10	17,3	119,8	-	-	137,1
	12,5	20,5	-	-	-	20,5
<b>CA60</b>	5	74,6	46,2	153,3	-	274,1
<b>Total</b>		281,0	166,0	212,8	38,4	<b>698,2</b>

<b>Sapata</b>	<b>Volume fundação (m³)</b>	<b>Volume escavado (m³)</b>
S01	0,16	0,19
S02	0,22	0,26
S03	0,16	0,19
S04	0,18	0,22
S05	0,26	0,31
S06	0,18	0,22
S07	0,16	0,19

Sapata	Volume fundação (m³)	Volume escavado (m³)
S08	0,16	0,19
S09	0,16	0,19
<b>Total</b>		<b>1,94</b>

Fonte: Autores (2018).

Tabela 27 - Quantitativo de materiais – Unifamiliar apoio elástico Solo 2

	Volume de concreto (m³)				Total
	Vigas	Pilares	Lajes	Fundações	
<b>Térreo</b>	2,7	1,1	5,8	-	9,6
<b>Baldrame</b>	3,0	0,5	-	1,0	4,5
<b>Total</b>	<b>5,7</b>	<b>1,6</b>	<b>5,8</b>	<b>1,0</b>	<b>14,1</b>

	Área de forma (m²)				Total
	Vigas	Pilares	Lajes	Fundações	
<b>Térreo</b>	45,5	22,2	58,3	-	126,0
<b>Baldrame</b>	50,8	9,5	-	6,1	66,4
<b>Total</b>	<b>96,3</b>	<b>31,7</b>	<b>58,3</b>	<b>6,1</b>	<b>192,4</b>

Aço - Peso +10% (kg)						
Aço	Diâmetro (mm)	Vigas	Pilares	Lajes	Fundações	Total
<b>CA50</b>	6,3	-	-	24,0	34,4	58,4
	8	180,8	-	35,5	-	216,3
	10	9,1	128,1	-	-	137,2
	12,5	10,8	-	-	-	10,8
<b>CA60</b>	5	74,7	49,1	153,3	-	277,1
<b>Total</b>		<b>275,4</b>	<b>177,2</b>	<b>212,8</b>	<b>34,4</b>	<b>699,8</b>

Sapata	Volume fundação (m³)	Volume escavado (m³)
S01	0,16	0,19
S02	0,18	0,22
S03	0,16	0,19
S04	0,16	0,19
S05	0,23	0,28
S06	0,16	0,19
S07	0,16	0,19
S08	0,16	0,19
S09	0,16	0,19
<b>Total</b>		<b>1,80</b>

Fonte: Autores (2018).

Mesmo a resistência do Solo 2 sendo maior que a do Solo 1, nas Tabelas 26 e 27 pôde-se notar resultado de proporção semelhante ao que ocorre no Solo 1. Na edificação sobre apoio elástico, o uso de concreto e aço são reduzidos se comparado ao apoio rígido, assim como o volume de escavação das sapatas. E a área de forma ainda é maior no apoio elástico, pelo mesmo fator apresentado anteriormente na análise das Tabelas 25 e 26.

A Tabela 28 evidencia o custo total de cada edificação considerando os materiais e serviço listados.

**Tabela 28 - Comparativo de custos – Unifamiliar**

	<b>Concreto C25</b>	<b>Forma</b>	<b>Escavação</b>	<b>Aço CA60 - 5,0 mm</b>	<b>Aço CA50 - 6,3 mm</b>
<b>Rígido Solo 1</b>	R\$ 4.450,03	R\$ 3.331,78	R\$ 159,94	R\$ 1.293,75	R\$ 295,31
<b>Elástico Solo 1</b>	R\$ 4.390,30	R\$ 3.335,24	R\$ 142,56	R\$ 1.302,72	R\$ 299,80
<b>Rígido Solo 2</b>	R\$ 4.270,84	R\$ 3.333,51	R\$ 112,42	R\$ 1.293,75	R\$ 310,75
<b>Elástico Solo 2</b>	R\$ 4.211,11	R\$ 3.326,60	R\$ 104,31	R\$ 1.307,91	R\$ 290,83

	<b>Aço CA50 - 8,0 mm</b>	<b>Aço CA50 - 10,0 mm</b>	<b>Aço CA50 - 12,5 mm</b>	<b>TOTAL</b>
<b>Rígido Solo 1</b>	R\$ 1.302,56	R\$ 652,60	R\$ 92,87	R\$ 11.578,85
<b>Elástico Solo 1</b>	R\$ 1.246,56	R\$ 712,57	R\$ 48,92	R\$ 11.478,67
<b>Rígido Solo 2</b>	R\$ 1.142,96	R\$ 652,60	R\$ 92,87	R\$ 11.209,70
<b>Elástico Solo 2</b>	R\$ 1.211,28	R\$ 653,07	R\$ 48,92	R\$ 11.154,03

Fonte: Autores (2018).

Através do resultado obtido na Tabela 28, pôde-se concluir que para o presente estudo a edificação unifamiliar apoiada com vínculos elásticos sobre o Solo 1

proporciona uma economia de R\$ 100,18 se comparada à edificação unifamiliar apoiada com vínculos rígidos, de acordo com os materiais e serviços quantificados. Com relação ao Solo 2 é possível notar um resultado similar, no qual para a edificação calculada com o método de apoios elásticos, o custo total dos materiais e serviços quantificados sofre uma redução de R\$ 55,67 em comparação à calculada considerando o método de apoios rígidos.

É importante ressaltar que os resultados obtidos são particulares para a edificação, método construtivo e solo em questão. Caso ocorra a alteração de um desses fatores, o resultado obtido pode apresentar variações.

## 5.2 MULTIFAMILIAR

Assim como no item 5.1, as Tabelas 29, 30, 31 e 32 apresentam o consumo de concreto, forma, aço e escavação referentes aos dimensionamentos dos projetos multifamiliares para o Solo 1 e Solo 2, assim como os diferentes métodos de cálculo.

**Tabela 29 - Quantitativo de materiais – Multifamiliar apoio rígido Solo 1**

	<b>Volume de concreto (m<sup>3</sup>)</b>				
	<b>Vigas</b>	<b>Pilares</b>	<b>Lajes</b>	<b>Fundações</b>	<b>Total</b>
<b>4º pav.</b>	11,3	6,4	27,7	-	45,4
<b>3º pav.</b>	11,3	6,4	27,7	-	45,4
<b>2º pav.</b>	11,3	6,4	27,7	-	45,4
<b>Térreo</b>	11,3	6,4	27,7	-	45,4
<b>Baldrame</b>	11,3	6,3	-	37,3	54,9
<b>Total</b>	<b>56,5</b>	<b>31,9</b>	<b>110,8</b>	<b>37,3</b>	<b>236,5</b>

	<b>Área de forma (m<sup>2</sup>)</b>				
	<b>Vigas</b>	<b>Pilares</b>	<b>Lajes</b>	<b>Fundações</b>	<b>Total</b>
<b>4º pav.</b>	188,5	123,6	231,0	-	543,1
<b>3º pav.</b>	188,5	123,6	231,0	-	543,1
<b>2º pav.</b>	188,5	123,6	231,0	-	543,1
<b>Térreo</b>	188,5	123,6	231,0	-	543,1
<b>Baldrame</b>	188,5	121,9	-	49,4	359,8
<b>Total</b>	<b>942,5</b>	<b>616,3</b>	<b>924,0</b>	<b>49,4</b>	<b>2532,2</b>

<b>Peso +10% (kg)</b>						
<b>Aço</b>	<b>Diâmetro (mm)</b>	<b>Vigas</b>	<b>Pilares</b>	<b>Lajes</b>	<b>Fundações</b>	<b>Total</b>
	6,3	1,5	-	2027,6	-	2029,1
	8	1679,7	-	442,1	154,1	2275,9
<b>CA50</b>	10	587,3	2317,0	1037,9	635,0	4577,2
	12,5	22,4	-	-	1221,5	1243,9
	16	-	171,6	-	351,4	523,0
<b>CA60</b>	5	754,7	1041,3	652,4	-	2448,4
	<b>Total</b>	3045,6	3529,9	4160,0	2362,0	<b>13097,5</b>

<b>Sapata</b>	<b>Volume fundação (m³)</b>	<b>Volume escavado (m³)</b>	<b>Sapata</b>	<b>Volume fundação (m³)</b>	<b>Volume escavado (m³)</b>
S01	0,54	0,65	S22	1,68	2,01
S02	1,03	1,24	S23	0,43	0,52
S03	0,63	0,75	S24	1,35	1,62
S04	0,63	0,75	S26	1,35	1,62
S05	1,03	1,24	S27	1,35	1,62
S06	0,54	0,65	S29	1,35	1,62
S07	0,78	0,94	S30	0,43	0,52
S08	2,23	2,67	S31	0,78	0,94
S09	1,68	2,01	S32	2,23	2,67
S10	1,68	2,01	S33	1,68	2,01
S11	2,23	2,67	S34	1,68	2,01
S12	0,78	0,94	S35	2,23	2,67
S13	0,43	0,52	S36	0,78	0,94
S14	1,41	1,69	S37	0,54	0,65
S16	1,41	1,69	S38	1,03	1,24
S17	1,41	1,69	S39	0,63	0,75
S19	1,41	1,69	S40	0,63	0,75
S20	0,43	0,52	S41	1,03	1,24
S21	1,68	2,01	S42	0,54	0,65
	<b>Total</b>			<b>52,39 m³</b>	

Fonte: Autores (2018).



Tabela 30 - Quantitativo de materiais – Multifamiliar apoio elástico Solo 1

	Volume de concreto (m <sup>3</sup> )				
	Vigas	Pilares	Lajes	Fundações	Total
4º pav.	11,3	6,4	27,7	-	45,4
3º pav.	11,3	6,4	27,7	-	45,4
2º pav.	11,3	6,4	27,7	-	45,4
Térreo	11,3	6,4	27,7	-	45,4
Baldrame	11,3	6,3	-	37,3	55,0
<b>Total</b>	<b>56,5</b>	<b>31,9</b>	<b>110,8</b>	<b>37,3</b>	<b>236,5</b>

	Área de forma (m <sup>2</sup> )				
	Vigas	Pilares	Lajes	Fundações	Total
4º pav.	188,5	123,6	231,0	-	543,1
3º pav.	188,5	123,6	231,0	-	543,1
2º pav.	188,5	123,6	231,0	-	543,1
Térreo	188,5	123,6	231,0	-	543,1
Baldrame	188,5	121,9	-	49,8	360,2
<b>Total</b>	<b>942,5</b>	<b>616,3</b>	<b>924,0</b>	<b>49,8</b>	<b>2532,6</b>

Peso +10% (kg)						
Aço	Diâmetro (mm)	Vigas	Pilares	Lajes	Fundações	Total
CA50	6,3	0,4	-	2027,6	-	2028,0
	8	1707,0	-	442,1	152,1	2301,2
	10	454,0	2296,6	1037,9	667,7	4456,2
	12,5	124,7	-	-	1118,5	1243,2
	16	-	171,6	-	427,8	599,4
CA60	5	756,8	1040,1	652,4	-	2449,3
<b>Total</b>		<b>3042,9</b>	<b>3508,3</b>	<b>4160,0</b>	<b>2366,1</b>	<b>13077,3</b>

Sapata	Volume fundação (m <sup>3</sup> )	Volume escavado (m <sup>3</sup> )	Sapata	Volume fundação (m <sup>3</sup> )	Volume escavado (m <sup>3</sup> )
S01	0,54	0,65	S22	1,65	1,98
S02	1,03	1,24	S23	0,43	0,52
S03	0,63	0,75	S24	1,26	1,51
S04	0,63	0,75	S26	2,05	2,46
S05	1,03	1,24	S27	1,26	1,51
S06	0,50	0,60	S29	1,41	1,69
S07	0,78	0,94	S30	0,43	0,52
S08	2,22	2,66	S31	0,78	0,94
S09	1,65	1,98	S32	2,22	2,66
S10	1,65	1,98	S33	1,47	1,76
S11	2,22	2,66	S34	1,65	1,98

Sapata	Volume fundação (m <sup>3</sup> )	Volume escavado (m <sup>3</sup> )	Sapata	Volume fundação (m <sup>3</sup> )	Volume escavado (m <sup>3</sup> )
S12	0,78	0,94	S35	2,22	2,66
S13	0,43	0,52	S36	0,78	0,94
S14	1,41	1,69	S37	0,54	0,65
S16	1,47	1,76	S38	1,03	1,24
S17	1,41	1,69	S39	0,63	0,75
S19	1,41	1,69	S40	0,63	0,75
S20	0,43	0,52	S41	1,03	1,24
S21	1,47	1,76	S42	0,54	0,65
<b>Total</b>				<b>52,39 m<sup>3</sup></b>	

Fonte: Autores (2018).

Assim como na análise realizada no modelo unifamiliar, as Tabelas 29 e 30 apresentam os resultados da estrutura apoiada sobre vínculos rígidos e vínculos elásticos, respectivamente, sendo que ambos consideram o Solo 1. Através dos resultados, pôde-se observar que o volume de concreto e de escavação, assim como área de forma utilizada foram bem próximos para os dois métodos, isso devido às dimensões das fundações que sofreram mínimas modificações. Em relação à área de aço utilizada na estrutura, houve um pequeno aumento quando considerada a estrutura apoiada sobre solo rígido, que também se deve à alteração de esforços na estrutura devido a não inserção dos coeficientes elásticos do solo.

**Tabela 31 - Quantitativo de materiais – Multifamiliar apoio rígido Solo 2**

	Volume de concreto (m <sup>3</sup> )				
	Vigas	Pilares	Lajes	Fundações	Total
<b>4º pav.</b>	11,3	6,4	27,7	-	45,4
<b>3º pav.</b>	11,3	6,4	27,7	-	45,4
<b>2º pav.</b>	11,3	6,4	27,7	-	45,4
<b>Térreo</b>	11,3	6,4	27,7	-	45,4
<b>Baldrame</b>	11,3	6,3	-	12,2	29,8
<b>Total</b>	<b>56,5</b>	<b>31,9</b>	<b>110,8</b>	<b>12,2</b>	<b>211,4</b>

Área de forma (m <sup>2</sup> )					
	Vigas	Pilares	Lajes	Fundações	Total
4º pav.	188,5	123,6	231,0		543,1
3º pav.	188,5	123,6	231,0	-	543,1
2º pav.	188,5	123,6	231,0	-	543,1
Térreo	188,5	123,6	231,0	-	543,1
Baldrame	188,5	121,9	-	30,4	340,8
<b>Total</b>	<b>942,5</b>	<b>616,3</b>	<b>924,0</b>	<b>30,4</b>	<b>2513,2</b>

Peso +10% (kg)						
Aço	Diâmetro (mm)	Vigas	Pilares	Lajes	Fundações	Total
	6,3	-	-	2027,6	63,9	2091,5
	8	1685,9	-	442,1	390,1	2518,1
<b>CA50</b>	10	538,0	2251,6	1037,9	65,5	3893,0
	12,5	22,4	-	-	-	22,4
	16	-	171,6	-	-	171,6
<b>CA60</b>	5	754,7	1032,4	652,4	-	2439,5
<b>Total</b>		<b>3001,0</b>	<b>3455,6</b>	<b>4160,0</b>	<b>519,5</b>	<b>11136,1</b>

Sapata	Volume fundação (m <sup>3</sup> )	Volume escavado (m <sup>3</sup> )	Sapata	Volume fundação (m <sup>3</sup> )	Volume escavado (m <sup>3</sup> )
S01	0,32	0,38	S22	0,64	0,77
S02	0,39	0,47	S23	0,28	0,33
S03	0,35	0,42	S24	0,59	0,71
S04	0,35	0,42	S26	0,58	0,70
S05	0,39	0,47	S27	0,58	0,70
S06	0,32	0,38	S29	0,58	0,70
S07	0,36	0,43	S30	0,28	0,33
S08	0,77	0,92	S31	0,36	0,43
S09	0,64	0,77	S32	0,77	0,92
S10	0,64	0,77	S33	0,64	0,77
S11	0,77	0,92	S34	0,64	0,77
S12	0,36	0,43	S35	0,77	0,92
S13	0,28	0,33	S36	0,36	0,43
S14	0,59	0,71	S37	0,32	0,38
S16	0,59	0,71	S38	0,43	0,52
S17	0,59	0,71	S39	0,35	0,42
S19	0,59	0,71	S40	0,35	0,42
S20	0,28	0,33	S41	0,43	0,52
S21	0,64	0,77	S42	0,32	0,38
<b>Total</b>				<b>22,16 m<sup>3</sup></b>	

Fonte: Autores (2018).

Tabela 32 - Quantitativo de materiais – Multifamiliar apoio elástico Solo 2

	Volume de concreto (m <sup>3</sup> )				
	Vigas	Pilares	Lajes	Fundações	Total
4º pav.	11,3	6,4	27,7	-	45,4
3º pav.	11,3	6,4	27,7	-	45,4
2º pav.	11,3	6,4	27,7	-	45,4
Térreo	11,3	6,4	27,7	-	45,4
Baldrame	11,3	6,3	-	12,1	29,7
<b>Total</b>	<b>56,5</b>	<b>31,9</b>	<b>110,8</b>	<b>12,1</b>	<b>211,3</b>

	Área de forma (m <sup>2</sup> )				
	Vigas	Pilares	Lajes	Fundações	Total
4º pav.	188,5	123,6	231,0	-	543,1
3º pav.	188,5	123,6	231,0	-	543,1
2º pav.	188,5	123,6	231,0	-	543,1
Térreo	188,5	123,6	231,0	-	543,1
Baldrame	188,5	121,9	-	30,3	340,7
<b>Total</b>	<b>942,5</b>	<b>616,3</b>	<b>924,0</b>	<b>30,3</b>	<b>2513,1</b>

Aço	Diâmetro (mm)	Peso +10% (kg)				
		Vigas	Pilares	Lajes	Fundações	Total
CA50	6,3	1,5	-	2027,6	63,9	2093,0
	8	1687,0	-	442,1	387,7	2516,8
	10	538,2	2273,5	1037,9	65,5	3915,1
	12,5	22,4	-	-	-	22,4
	16	-	124,2	-	-	124,2
CA60	5	754,7	1035,2	652,4	-	2442,3
<b>Total</b>		<b>3003,8</b>	<b>3432,9</b>	<b>4160,0</b>	<b>517,1</b>	<b>11113,8</b>

Sapata	Volume fundação (m <sup>3</sup> )	Volume escavado (m <sup>3</sup> )	Sapata	Volume fundação (m <sup>3</sup> )	Volume escavado (m <sup>3</sup> )
S01	0,32	0,38	S22	0,64	0,77
S02	0,39	0,47	S23	0,28	0,33
S03	0,35	0,42	S24	0,57	0,68
S04	0,35	0,42	S26	0,57	0,68
S05	0,39	0,47	S27	0,57	0,68
S06	0,32	0,38	S29	0,57	0,68
S07	0,36	0,43	S30	0,28	0,33
S08	0,77	0,92	S31	0,36	0,43
S09	0,64	0,77	S32	0,77	0,92

Sapata	Volume fundação (m³)	Volume escavado (m³)	Sapata	Volume fundação (m³)	Volume escavado (m³)
S10	0,64	0,77	S33	0,64	0,77
S11	0,77	0,92	S34	0,64	0,77
S12	0,36	0,43	S35	0,77	0,92
S13	0,28	0,33	S36	0,36	0,43
S14	0,60	0,71	S37	0,32	0,38
S16	0,60	0,71	S38	0,43	0,52
S17	0,60	0,71	S39	0,35	0,42
S19	0,60	0,71	S40	0,35	0,42
S20	0,28	0,33	S41	0,43	0,52
S21	0,64	0,77	S42	0,32	0,38
<b>Total</b>				<b>22,09 m³</b>	

Fonte: Autores (2018).

Similar à situação da edificação unifamiliar, mesmo com o aumento da resistência do Solo 2, as diferenças no resultado foram da mesma proporção. Fato este comprovado nas Tabelas 31 e 32, que apontam volume de concreto, de escavação e área de forma relativamente maior no método de apoios rígidos. O mesmo aumento ocorre na área de aço utilizada na estrutura.

A Tabela 33 apresenta o custo total de cada edificação considerando os materiais e serviços citados.

**Tabela 33 - Multifamiliar – Comparativo de custos**

	Concreto C30	Forma	Escavação	Aço CA60 - 5,0 mm	Aço CA50 - 6,3 mm
<b>Rígido Solo 1</b>	R\$ 70.633,09	R\$ 43.781,74	R\$ 3.036,00	R\$ 11.556,45	R\$ 10.104,92
<b>Elástico Solo 1</b>	R\$ 70.633,09	R\$ 43.788,65	R\$ 3.036,00	R\$ 11.560,70	R\$ 10.099,44
<b>Rígido Solo 2</b>	R\$ 63.136,72	R\$ 43.453,23	R\$ 1.284,17	R\$ 11.514,44	R\$ 10.415,67
<b>Elástico Solo 2</b>	R\$ 63.106,86	R\$ 43.451,50	R\$ 1.280,12	R\$ 11.527,66	R\$ 10.423,14

	<b>Aço CA50 - 8,0 mm</b>	<b>Aço CA50 - 10,0 mm</b>	<b>Aço CA50 - 12,5 mm</b>	<b>TOTAL</b>
<b>Rígido Solo 1</b>	R\$ 12.745,04	R\$ 21.787,47	R\$ 5.634,87	R\$ 181.648,76
<b>Elástico Solo 1</b>	R\$ 12.886,72	R\$ 21.211,51	R\$ 5.631,70	R\$ 181.563,09
<b>Rígido Solo 2</b>	R\$ 14.101,36	R\$ 18.530,68	R\$ 101,47	R\$ 163.315,09
<b>Elástico Solo 2</b>	R\$ 14.094,08	R\$ 18.635,88	R\$ 101,47	R\$ 163.183,32

Fonte: Autores (2018).

Tendo em vista os resultados da Tabela 33, conclui-se que a edificação multifamiliar dimensionada sobre o Solo 1, apoiada em vínculos elásticos, geram uma economia de R\$ 85,67 se comparada à edificação dimensionada no mesmo solo, apoiada em vínculos rígidos. À medida que, no Solo 2, a edificação sobre solo elástico apresenta uma redução de R\$ 131,77 em comparação à edificação sobre solo rígido.

Os resultados obtidos são válidos apenas para os materiais e serviços selecionados. Também é importante destacar que caso ocorra a alteração do tipo de edificação, método construtivo e/ou solo utilizado, os resultados podem sofrer alterações.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi estudado através do presente trabalho as diferenças no dimensionamento de duas estruturas, uma unifamiliar e a outra multifamiliar, a consideração dos apoios elásticos em comparação aos apoios rígidos em fundações o tipo sapata isolada apoiada sobre solo argiloso. No geral, analisando os esforços obtidos através da consideração da interação solo-estrutura (estrutura apoiada sobre meio elástico), pôde-se observar menor intensidade nos pilares, se comparado à consideração de apoio rígido. Por menor que seja a diferença, a mesma situação ocorre nas fundações, proporcionando um menor consumo na quantidade de aço e concreto utilizado.

Numa análise geral, pôde-se concluir que a estrutura, tanto unifamiliar quanto multifamiliar, se dimensionadas considerando os parâmetros de elasticidade corretos do solo, podem apresentar dimensionamentos mais fiáveis e compatíveis à realidade, além de promover certa economia de aço e concreto utilizado em obra sem prejudicar na segurança e estabilidade da estrutura. Contudo, é importante ressaltar que o maior desafio para a análise da interação solo-estrutura é a consideração dos parâmetros reais do solo. São necessários cálculos específicos que variam à cada tipo de solo e fundação, sendo que no presente trabalho foi apresentado apenas para solos argilosos sob sapata isolada.

Considerando a complexidade do método de apoios elásticos e o resultado relativamente baixo obtido no que se refere à diferença de gastos, conclui-se que sua utilização não se torna tão vantajosa para as edificações, métodos construtivos, tipo de fundação e de solos apresentados no presente trabalho.

Ao decorrer do trabalho, notou-se que o campo de interação solo-estrutura é muito vasto. Sendo assim, por falta de tempo hábil, não foi possível realizar análises para outros tipos de fundações e solos. É interessante continuar com o estudo e futuramente realizar pesquisas em relação às fundações profundas, como por exemplo estacas pré-moldadas, com o intuito de obter outros comparativos entre apoio elástico e apoio rígido.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, V. S. **Análise da interação solo não-homogêneo/estrutura via acoplamento MEC/MEF**. São Paulo: Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo; 2003. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-31032016-094320/pt-br.php>>. Acesso em: 12 set. 2017.

ANTONIAZZI, J. P. **Interação solo-estrutura de edifícios com fundações superficiais**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria – Centro de Tecnologia; 2011. Disponível em: <<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/7763/ANTONIAZZI,%20JULIANA%20PIPPI.pdf>> Acesso em: 10 jun. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**; 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**; 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484: Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de Ensaio**; 2001.

BRASIL – Caixa Econômica Federal. **SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil**; 2018. Disponível em: <<http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 3 de nov. 2018.

BRASIL – Ministério das Cidades. **Programa Minha Casa Minha Vida – Especificações Mínimas Unidades Habitacionais**; 2016. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/habitacao-cidades/programa-minha-casa-minha-vida-pmcmv/especificacoes-tecnicas>>. Acesso em: 03 out. 2018.

COLARES, G. M. **Programa para análise da interação solo-estrutura no projeto de edifícios**. São Paulo: Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo; 2006. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18>>



/18134/tde-08042006-144423/publico/Dissertacao\_George\_Moura\_Colares.pdf>.

Acesso em: 12 set. 2017.

IWAMOTO, R. K. **Alguns aspectos dos efeitos da interação solo-estrutura em edifícios de múltiplos andares com fundação profunda**. São Paulo: Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo; 2000. Disponível em: <[http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-08062006-163117/publico/2000ME\\_RobertoKIwamoto.pdf](http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-08062006-163117/publico/2000ME_RobertoKIwamoto.pdf)>. Acesso em: 12 set: 2017.

JÚNIOR, O. G. H. **Interação solo-estrutura para edifícios de concreto armado sobre fundações diretas**. São Paulo: Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo; 1998. Disponível em: <[http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-21122017-114906/publico/Dissert\\_Holanda\\_Jr\\_OsvaldoG.pdf](http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-21122017-114906/publico/Dissert_Holanda_Jr_OsvaldoG.pdf)>. Acesso em: 10 jun: 2018.

KIRSTEN, A. **Como obter a pressão admissível a partir do SPT**. 2018. Disponível em: <<https://suporte.altoqi.com.br/hc/pt-br/articles/360004276094-Como-obter-a-press%C3%A3o-admiss%C3%ADvel-a-partir-do-SPT>>. Acesso em: 19 out. 2018.

KIRSTEN, A. **Exemplo de obtenção dos coeficientes de mola em sapatas**. 2016. Disponível em: <<http://faq.altoqi.com.br/content/174/1755/pt-br/exemplo-de-obten%C3%A7%C3%A3o-dos-coeficientes-de-mola-em-sapatas.html>>. Acesso em: 19 out. 2018.

MARANGON, M. **Parâmetros dos Solos para Cálculo de Fundações**. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora; 2018. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/GF03-Par%C3%A2metros-dos-Solos-para-C%C3%A1lculo-de-Funda%C3%A7%C3%B5es.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2018.

MARTHA, L. F. **Análise de Estruturas: Conceitos e Métodos Básicos**. Rio de Janeiro: Elsevier; 2010.

PEREIRA, C. **Noções básicas de Fundações**. Escola Engenharia; 2013. Disponível em: <<https://www.escolaengenharia.com.br/noco-es-basicas-de-fundacoes/>>. Acesso em: 21 de set. 2018.

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

REIS, J. H. & SOUZA, R. A. **Interação solo-estrutura para edifícios sobre fundações rasas**. Maringá: Universidade Estadual de Maringá; 2008. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=303226522006>>. Acesso em: 21 set. 2018.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do Trabalho Científico, 23ª ed.** São Paulo: Cortez; 2007.

SÜSSEKIND, J. C. **Curso de análise estrutural – Volume 1 - Estruturas Isostáticas, 6ª ed.** Porto Alegre – Rio de Janeiro: Globo; 1981.

VELLOSO, D. A. & LOPES, F. R. **Critérios de Projeto - Investigação de Subsolo - Fundações Superficiais, 2ª ed.** São Paulo: Oficina de Textos; 2011.