GTS
GESTÃO, TECNOLOGIA E SUSTENTABILIDADE

PREVISÃO DE RECALQUES EM SAPATAS: ANÁLISE DE INTERAÇÃO ENTRE OS ELEMENTOS DE FUNDAÇÕES

Amanda Ferreira Rodrigues[1], Larissa dos Santos Silva[2], Isabella Christine de Paula Santos[3]

Resumo

As fundações são responsáveis por transmitir ao terreno as cargas provenientes da estrutura, o que torna a determinação de recalques um dos aspectos de maior importância em obras geotécnicas. Dessa forma, o objetivo deste trabalho é realizar a previsão de recalques para uma obra, com fundação do tipo sapata, considerando e não considerando a interação entre os elementos de fundação. Para isso, foi utilizado o método racional indireto para o cálculo de recalques, e para o cálculo dos acréscimos de tensão ao longo da profundidade utilizou-se o método de Newmark. Realizadas as análises das sapatas, considerando e sem considerar a interação dos elementos vizinhos, notou-se que as sapatas que recebem influências de outros elementos de fundações, atingiram um recalque superior ao das sapatas sem interação, e que as sapatas que possuem um maior número de interações atingiram recalques maiores. Além disso, percebeu-se também, que os recalques são proporcionais ao tamanho e ao carregamento aplicado sobre a fundação, e que as sapatas da região central atingem maiores recalques do que as localizadas nas bordas da construção. Dessa forma, tem-se que o tipo de solo, o carregamento aplicado, as dimensões das fundações e a interação entre os elementos de fundação interferem na previsão de recalques.

Palavras–chave: Previsão de recalques. Interação entre elementos de fundações. Acréscimo de cargas. Sapatas.

Abstract

The foundations are responsible for transmitting to the terrain the loads coming from the structure, which makes the determination of settlements one of the most important aspects in geotechnical works. Thus, the objective of this article is to carry out the prediction of settlements for a work, with foundation of the shoe type, considering and not considering the interaction between the foundation elements. For this, the indirect rational method was used for the calculation of settlements, and for the calculation of the stress increments along the depth was used the method of Newmark. After analyzing the shoes, considering and not considering the interaction of the neighboring elements, it was noticed that the shoes that receive influences from other elements of foundations, reached a higher pressure than the shoes without interaction, and that shoes that have a greater number increased. In addition, it has also been noted that the rebates are proportional to the size and load applied to the foundation, and that the shoes in the central region achieve higher rebates than those located at the edges of the construction. type of soil, applied load, the dimensions of the foundations and the interaction between the foundation elements interfere with the prediction of settling.

Key words: Prediction of settlements. Interaction between elements of foundations. Adding loads. Low shoes.

[1]amandafrv@gmail.com, Universidade de Rio Verde, Faculdade de Engenharia Civil.
[2]larissa_ss100@hotmail.com, Universidade de Rio Verde, Faculdade de Engenharia Civil.
[3]isabellasantos@unirv.edu.br, Universidade de Rio Verde, Faculdade de Engenharia Civil.

Introdução

São chamados de fundações os elementos estruturais responsáveis por transmitir ao solo as cargas de uma estrutura. Dessa forma, as fundações são estruturas que têm a finalidade de fornecer estabilidade a uma construção e transferir as solicitações de uma edificação para o maciço terroso, sendo projetadas conforme as características do solo e as utilidades construtivas (AZEREDO, 1977).

De acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2010), os diversos tipos de fundações podem ser divididos em dois grandes grupos: fundações profundas, também conhecidas como indiretas, ou fundações rasas, também chamadas de diretas. As fundações profundas transmitem as cargas ao solo pela superfície lateral, pela base, ou por uma junção das duas, apoiando-se em uma profundidade superior ao dobro de sua menor dimensão em planta e no mínimo a 3 metros.

As fundações diretas são responsáveis por conduzir a carga ao solo, principalmente pela base da fundação, sendo assentada em uma profundidade inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação e no máximo com 3 metros de profundidade. Dentre os diversos tipos de fundações rasas, pode-se citar as sapatas, que são subdivididas em corridas, isoladas, associadas e alavancadas (VELLOSO; LOPES, 2010).

Leonards[4] (1962) *apud* Silva (1998), afirma que as sapatas representam o modo mais antigo de fundações. Sendo que as sapatas isoladas, por exemplo, surgiram durante a idade média, com o desenvolvimento da arquitetura gótica. A engenharia de fundações, no entanto, progrediu com o desenvolvimento da mecânica dos solos. Muito deste avanço se deve a Karl Terzaghi quando, em 1925, publicou um trabalho fornecendo a primeira análise integrada do comportamento dos solos e, particularmente, dos recalques de fundação, encontrando solução para muitos problemas de fundações.

Ao se projetar uma fundação, deve-se assegurar que esta atenda aos estados limite último e de serviço, pois a ocorrência de recalques, que são um dos aspectos de maior interesse da engenharia geotécnica, está diretamente relacionada com o tipo de fundação, com a carga suportada pelos elementos e com o tipo de solo que os envolve. Sendo que todos os tipos de solos sofrem recalques quando submetidos a um determinado carregamento. Calisto e Koswosk (2015) afirmam que os recalques são uma das patologias mais significativas de uma obra.

O recalque ocorre quando uma edificação sofre um rebaixamento devido à redução dos vazios do solo sob a sua fundação. Este pode ser do tipo total, quando ocorre em toda a fundação; diferencial, quando ocorre em apenas um trecho da fundação; imediato; por adensamento primário; ou por adensamento secundário (CONSOLI; MILITITSKY, 2005).

[4]LEONARDS, G.A. Foundation engineering. New York, McGraw Hill, 1962. p.525-531.

Segundo Pinto (2006), o adensamento das argilas saturadas é um processo de deformação lenta, associada a um elevado tempo para que a água saia dos vazios do solo devido à baixa permeabilidade das mesmas.

Deste modo, a interação solo-estrutura apresenta grande importância no comportamento de uma edificação, fazendo com que seja necessário realizar a previsão de recalques da mesma. A estimava dos recalques pode ser realizada por meio de métodos racionais semi-empíricos e empíricos, podendo ser dividido em cálculos diretos baseando-se na Teoria da Elasticidade, e cálculos indiretos onde são utilizados os métodos de deformações específicas nas camadas; e por ensaios laboratoriais ou in situ (VELLOSO; LOPES, 2010). Além disso, para o cálculo de recalque é necessário conhecer o acréscimo de tensão ao longo da profundidade em uma determinada área. O acréscimo de tensão pode ser determinado utilizando soluções baseadas na Teoria da Elasticidade, como por exemplo, o método de Boussinesq, de Mindlin e de Newmark (VELLOSO; LOPES, 2010).

Com isso, o objetivo deste trabalho, é realizar uma análise comparativa da previsão de recalque de uma edificação com fundação rasa, do tipo sapata, sem considerar e considerando as interações entre os elementos de fundação. Para isso, tem-se como objetivos específicos, analisar os acréscimos de tensão ao longo da profundidade e a influência do carregamento e da dimensão das fundações na previsão de recalques. Dessa forma, ambas as análises serão realizadas para as sapatas isoladamente (considerando apenas seu carregamento) e para as mesmas considerando a influência das sapatas vizinhas. Além disso, será observada qual região da obra (região central ou bordas) tende a apresentar maiores recalques.

Material e métodos

Neste trabalho realizou-se a previsão de recalques de uma fundação do tipo sapata, de uma edificação térrea, de 2015, localizada na cidade de Goiânia, Goiás. Para isso, foram desenvolvidas planilhas eletrônicas no programa Microsoft Office Excel, baseando-se no laudo de sondagem e no projeto de fundação da obra.

Para a estimativa dos recalques primeiramente foram considerados elementos de fundação isolados, ou seja, para cada elemento de fundação foi calculado o recalque sem considerar a sua interação com outros elementos. Em seguida, calcularam-se os recalques, para cada elemento de fundação, considerando a influência dos carregamentos dos elementos vizinhos, com base na hipótese da superposição de efeitos da Teoria da Elasticidade. Dessa forma, posteriormente realizou-se uma análise comparativa entre os recalques obtidos sem considerar, e considerando, a interação entre os elementos de fundação.

Considerou-se que as sapatas exercem influência nos elementos de fundações vizinhos que se encontram em um raio inferior a três vezes à maior dimensão da sapata analisada.

O método empregado para a previsão dos recalques foi do tipo Racional, o qual foi realizado pelo procedimento de cálculos “indiretos”, e para a obtenção dos acréscimos de tensões ao longo da profundidade, utilizou-se o Método de Newmark.

- **Método Racional para o cálculo de recalques indiretamente**

A teoria utilizada na estimativa dos recalques foi retirada de Velloso e Lopes (2010).

Para o cálculo dos recalques por meio “indireto”, dividiu-se o terreno abaixo da cota de assentamento de cada sapata em camadas de diferentes espessuras, sendo que por este método, o recalque total de cada elemento de fundação é obtido pela soma dos recalques de cada subcamada.

Neste trabalho, a estimativa dos recalques foi realizada considerando-se apenas os recalques imediatos, pois o terreno da fundação é do tipo arenoso. Dessa forma, o recalque de cada camada pode ser obtido pela Equação 1.

$$\rho = \varepsilon . \Delta_H \tag{1}$$

onde:

ρ: parcela de recalque da subcamada;

ε: deformação específica média da subcamada;

$\Delta_{H:}$ espessura da camada.

sendo:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E_s} \tag{2}$$

onde:

σ = tensão transmitida ao solo;

E_S= módulo de elasticidade.

Logo, a Equação 1 pode ser reescrita conforme apresentado na Equação 3.

$$\rho = \frac{\sigma}{E_s} \cdot \Delta_H \tag{3}$$

Dessa forma, o recalque total será obtido por meio da soma dos recalques de cada camada (Equação 4):

$$\rho_T = \sum \rho \quad (4)$$

onde:

ρ_T: recalque total.

O Módulo de Elasticidade do Solo (E_S) foi obtido por meio de uma correlação empírica (Equação 5). Considerou-se esta relação em função de correlações empíricas obtidas na literatura que adotam o valor entre 3 a 4 vezes o N_{SPT} para a região de Goiânia (MAGALHÃES, 2005), em MPa.

$$E_S = N_{SPT} \, x \, 3{,}5 \quad (5)$$

Para o cálculo do recalque de cada subcamada foi calculado o acréscimo de tensão em cada profundidade estudada, no ponto médio de cada camada. O terreno foi discretizado em camadas de diferentes espessuras, sendo as 4 primeiras camadas com espessura de 60 cm, a quinta camada com 80 cm, a sexta com 100 cm e a sétima camada 200 cm de espessura (Figura 1). Consideraram-se espessuras menores para as primeiras camadas, devido ao acréscimo de tensão nas camadas superficiais serem maiores.

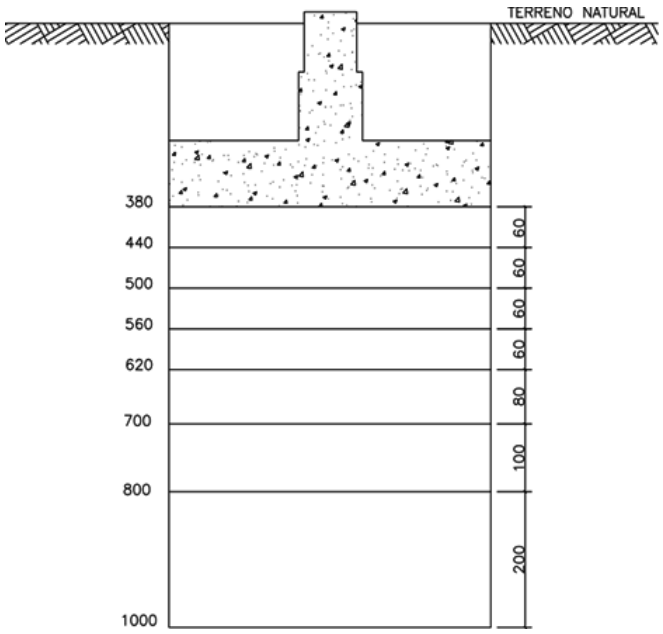

Figura 1 – Locação das fundações
Fonte: Próprio autor (2018).

Devido ao fato de ser necessária a escavação de 3 m do terreno para a execução do subsolo, ao se observar a cota de assentamento de cada sapata, determinou-se uma profundidade média de assentamento para as sapatas igual a 3,80 m. Adotar este valor médio é uma simplificação para realizar a previsão de recalque, o que não traz prejuízos significativos para a análise.

Para o estudo, foi considerado um bulbo de tensões, abaixo da cota de assentamento das sapatas, que atinge a profundidade de 9 metros, pois em 8 metros já atingia um solo arenoso resistente. Dessa forma, calculou-se o acréscimo de tensão até esta profundidade. Os resultados obtidos estão apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Camadas do solo do edifício e seus respectivos Módulos de Elasticidade, abaixo da cota de assentamento das sapatas

COTA DE INÍCIO DE CADA CAMADA (m)	COTA ESTUDADA (m)	CAMADA	ALTURA DA CAMADA (m)	PROFUNDIDADE ESTUDADA (m)	E_S (MPa)
3,8	4,1	1	0,60	0,3	26,25
4,4	4,7	2	0,60	0,9	26,25
5,0	5,3	3	0,60	1,5	63,00
5,6	5,9	4	0,60	2,1	63,00
6,2	6,6	5	0,80	2,8	159,25
7,0	7,5	6	1,00	3,7	128,63
8,0	9,0	7	2,00	5,2	26,25

Fonte: Próprio autor (2018).

- **Método de Newmark para o cálculo de tensões ao longo da profundidade**

A teoria utilizada para o cálculo do acréscimo de tensões no solo ao longo da profundidade foi retirada de Pinto (2006). Com isso, o método proposto por Newmark, que se baseia na Teoria da Elasticidade, assume que o solo é homogêneo e isotrópico.

Newmark considera uma área retangular, em terreno de superfície horizontal, com carregamentos uniformemente distribuídos. Para a determinação do acréscimo de tensão, Newmark determinou que o ponto estudado, em uma determinada profundidade, deve estar situado no vértice da área, abaixo da vertical e passando pela aresta da área retangular (Figura 2).

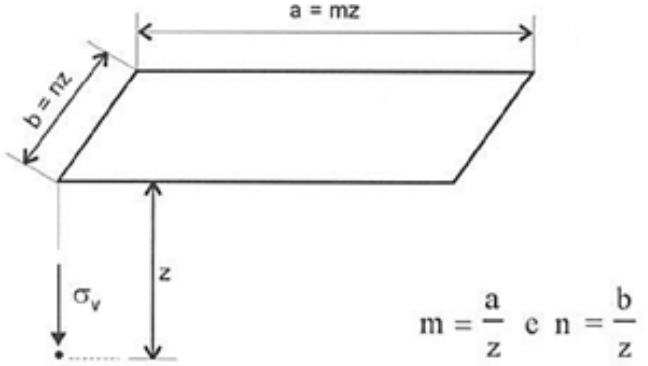

Figura 2 - Definição dos parâmetros m e n
Fonte: Pinto (2006).

As variáveis “a” e “b” (Figura 2) são as dimensões da área carregada, e “z” a profundidade considerada de cada camada, e “m” e “n” os parâmetros calculados.

Analisou-se como referência o ponto médio de cada subcamada, ou seja, os cálculos dos recalques e, consequentemente, os cálculos dos acréscimos de tensões foram realizados no ponto médio de cada subcamada e na vertical onde se deseja conhecer o recalque, considerando o ponto estudado abaixo do centro de gravidade de cada sapata, ou seja, no centro da sapata.

Durante a análise do acréscimo de tensões pode ocorrer do ponto analisado ficar ou não abaixo do vértice da área retangular. Caso não fique, é recomendado por Pinto (2006) que se divida a área em pequenos retângulos e depois os calcule isoladamente, para que no final se considere o efeito de cada um, somando ou subtraindo suas áreas como exemplificado na Figura 3, que representa o cálculo do acréscimo de tensão em um ponto fora da área carregada da sapata S18.

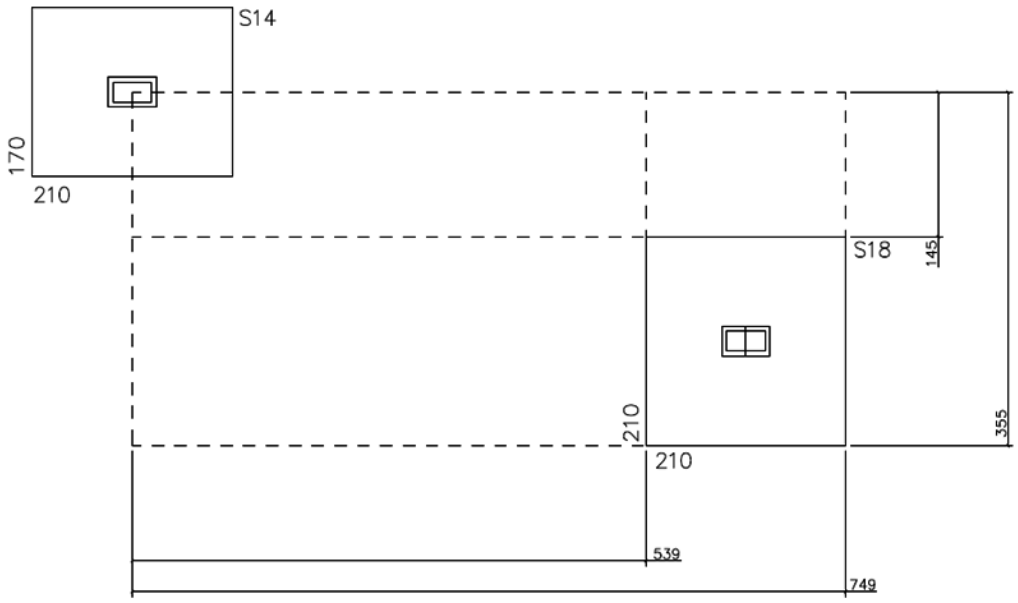

Figura 3 – Divisão de áreas retangulares da interação da sapata S18 na sapata S14
Fonte: Próprio autor (2018).

Dessa forma, pode-se utilizar a Equação (6) para o cálculo do acréscimo de tensão ao longo da profundidade.

$$\Delta\sigma_v = I \cdot \sigma_0 \tag{6}$$

onde:

I: coeficiente de influência, que se encontra em tabelas e ábaco, conforme mostrado nas Figuras 4 e 5.

σ_0 :tensão aplicada.

n ou m	n = a/z ou m = b/z								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0,1	0,005	0,009	0,013	0,017	0,020	0,022	0,..24	0,026	0,027
0,2	0,009	0,018	0,026	0,033	0,039	0,043	0,047	0,050	0,053
0,3	0,013	0,026	0,037	0,047	0,056	0,063	0,069	0,073	0,077
0,4	0,017	0,033	0,047	0,060	0,071	0,080	0,087	0,093	0,098
0,5	0,020	0,039	0,056	0,071	0,084	0,095	0,103	0,110	0,116
0,6	0,022	0,043	0,063	0,080	0,095	0,107	0,117	0,125	0,131
0,7	0,024	0,047	0,069	0,087	0,103	0,117	0,128	0,137	0,144
0,8	0,026	0,050	0,073	0,093	0,110	0,125	0,137	0,146	0,154
0,9	0,027	0,053	0,077	0,098	0,116	0,131	0,144	0,154	0,162
1,0	0,028	0,055	0,079	0,101	0,120	0,136	0,149	0,160	0,168
1,2	0,029	0,057	0,083	0,106	0,126	0,143	0,157	0,168	0,178
1,5	0,030	0,059	0,086	0,110	0,131	0,149	0,164	0,176	0,186
2,0	0,031	0,061	0,089	0,113	0,135	0,153	0,169	0,181	0,192
2,5	0,031	0,062	0,090	0,115	0,137	0,155	0,170	0,183	0,194
3,0	0,032	0,062	0,090	0,115	0,137	0,156	0,171	0,184	0,195
5,0	0,032	0,062	0,090	0,115	0,137	0,156	0,172	0,185	0,196
10,0	0,032	0,062	0,090	0,115	0,137	0,156	0,172	0,185	0,196
∞	0,032	0,062	0,090	0,115	0,137	0,156	0,172	0,185	0,196

n ou m	n = a/z ou m = b/z								
	1,0	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0	5,0	10,0	∞
0,1	0,028	0,029	0,030	0,031	0,031	0,032	0,032	0,032	0,032
0,2	0,055	0,057	0,059	0,061	0,062	0,062	0,062	0,062	0,062
0,3	0,079	0,083	0,086	0,089	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090
0,4	0,101	0,106	0,110	0,113	0,115	0,115	0,115	0,115	0,115
0,5	0,120	0,126	0,131	0,135	0,137	0,137	0,137	0,137	0,137
0,6	0,136	0,143	0,149	0,153	0,155	0,156	0,156	0,156	0,156
0,7	0,149	0,157	0,164	0,169	0,170	0,171	0,172	0,172	0,172
0,8	0,160	0,168	0,176	0,181	0,183	0,184	0,185	0,185	0,185
0,9	0,168	0,178	0,186	0,192	0,194	0,195	0,196	0,196	0,196
1,0	0,175	0,185	0,193	0,200	0,202	0,203	0,204	0,205	0,205
1,2	0,185	0,196	0,205	0,212	0,215	0,216	0,217	0,218	0,218
1,5	0,193	0,205	0,215	0,223	0,226	0,228	0,229	0,230	0,230
2,0	0,200	0,212	0,223	0,232	0,236	0,238	0,239	0,240	0,240
2,5	0,202	0,215	0,226	0,236	0,240	0,242	0,244	0,244	0,244
3,0	0,203	0,216	0,228	0,238	0,242	0,244	0,246	0,247	0,247
5,0	0,204	0,217	0,229	0,239	0,244	0,246	0,249	0,249	0,249
10,0	0,205	0,218	0,230	0,240	0,244	0,247	0,249	0,250	0,250
∞	0,205	0,218	0,230	0,240	0,244	0,247	0,249	0,250	0,250

Figura 4 - Valores de I em função de m e n para equação de Newmark
Fonte: Pinto (2006).

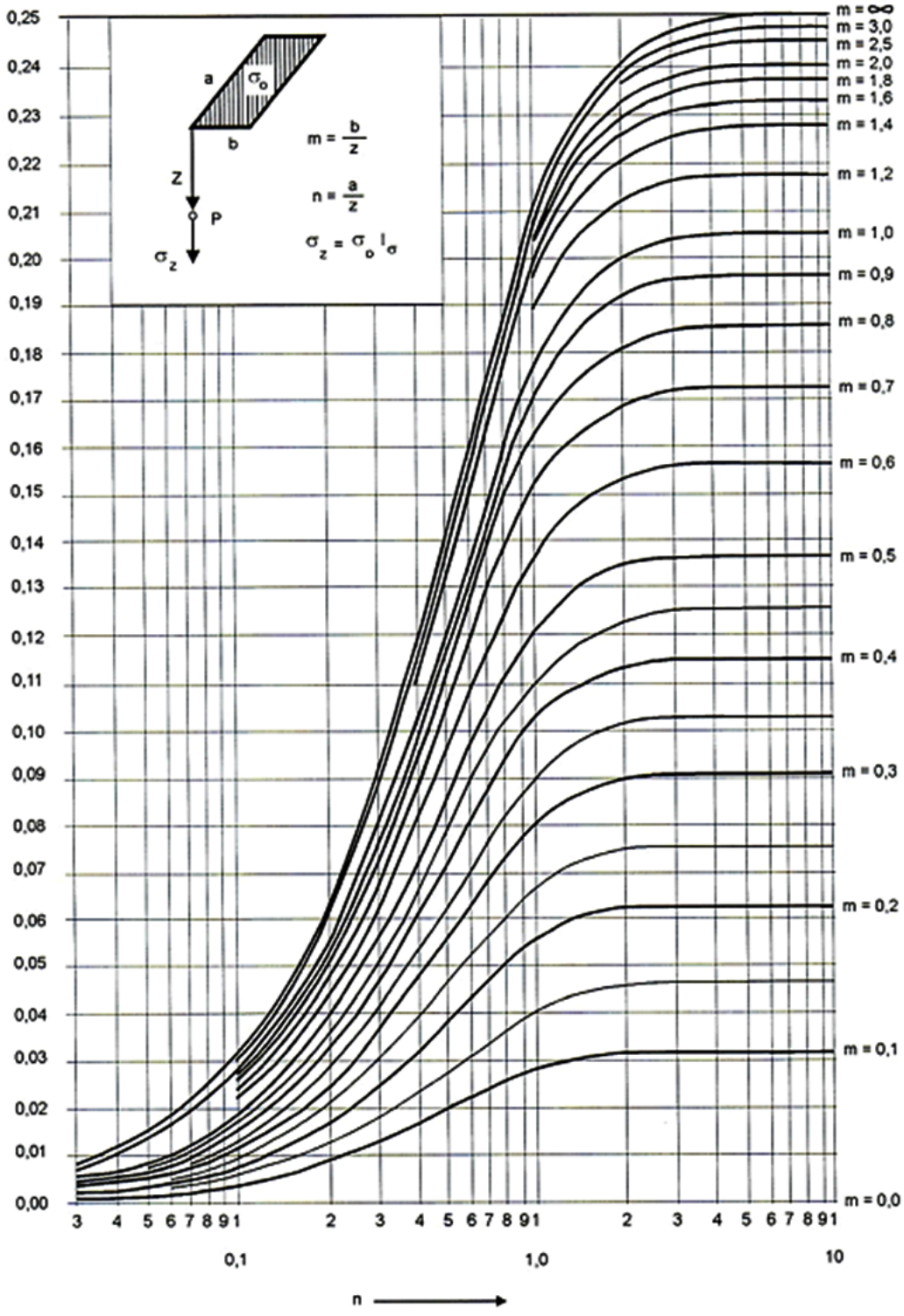

Figura 5 - Tensões verticais induzidas por carga uniformemente distribuída em área retangular
Fonte: Pinto (2006).

- **Dados da obra**

Os dados abaixo apresentam algumas informações da obra analisada, fornecidas por um escritório de engenharia atuante na área de fundações. Foram executados ao todo quatro laudos de sondagens, os quais são apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 – Resumo do número de golpes da sondagem SPT realizada no solo

PROFUNDIDADE (m)	N_{SPT} 1	N_{SPT} 2	N_{SPT} 3	N_{SPT} 4
1	2	6	4	6
2	3	3	5	4
3	2	5	7	6
4	2	11	7	10
5	4	23	20	25
6	12	27	23	30
7	25	52	50	55
8	32	30	55	30
9	30			
10	33			
11	36			
12	53			
13	30			

Fonte: Escritório de engenharia (2015).

As locações das sapatas (Figura 6) e suas dimensões com as cargas dos pilares estão apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 – Resumo das sapatas com pilares e cargas suportadas

nº	B (cm)	L (cm)	ÁREA (m²)	CARGA PILAR (kgf)	SEÇÃO PILAR (cm)	σ (kN/m²)
1	170	170	2,89	73400	20x40	253,98
2	160	160	2,56	62400	20x40	243,75
3	150	150	2,25	71600	20x40	318,22
4	230	190	4,37	8300	20x40	18,99
5	180	180	3,24	96300	20x40	297,22
6	140	140	1,96	54200	20x40	276,53
7	150	150	2,25	67300	20x40	299,11
8	100	130	1,30	24400	20x40	187,69
9	180	180	3,24	57700	20x40	178,09
10	160	160	2,56	84100	20x40	328,52
11	140	180	2,52	42200	20x40	167,46
12	160	160	2,56	79200	20x40	309,38
13	100	130	1,30	25400	20x40	195,38
14	210	170	3,57	122000	20x40	341,74
15	210	210	4,41	39200	20x40	88,89
16	170	170	2,89	91100	20x40	315,22
17	130	100	1,30	28500	20x40	219,23
18	210	210	4,41	48700	20x40	110,43
19	200	200	4,00	70200	20x40	175,50
20	140	140	1,96	52700	20x40	268,88
21	130	130	1,69	23800	20x40	140,83
22	180	180	3,24	32500	20x40	100,31

Fonte: Escritório de engenharia (2015).

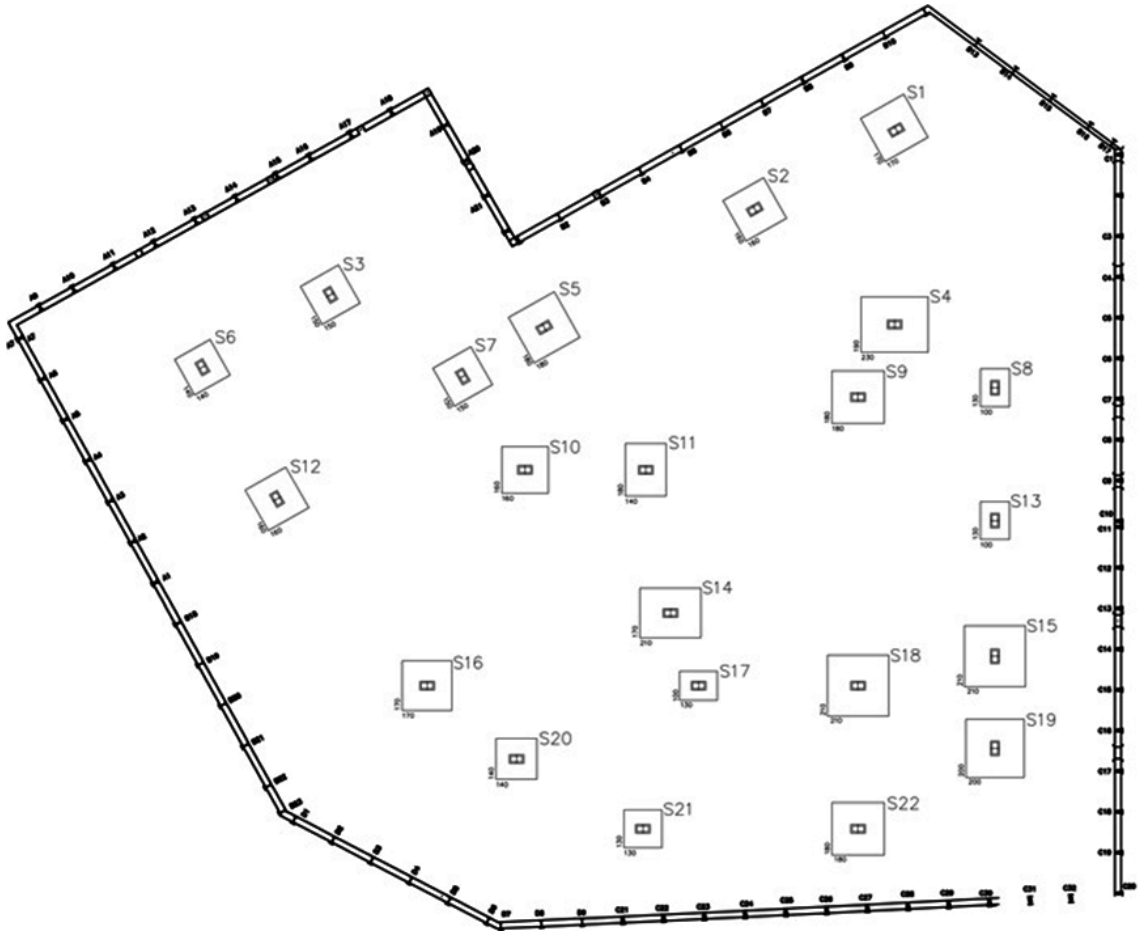

Figura 6 – Locação das fundações
Fonte: Escritório de engenharia (2015).

Resultados e discussão

Neste item são apresentados os cálculos dos recalques das sapatas isoladas, sem considerar a interação entre os elementos de fundação, e das sapatas, considerando a influência dos elementos de fundações vizinhos.

- **Cálculo dos recalques das sapatas isoladas**

A partir do cálculo de acréscimo de tensões no ponto médio de cada camada abaixo da profundidade de assentamento das sapatas, obteve-se o valor do recalque das mesmas, que somados dão o recalque total de cada sapata.

No Quadro 4, são apresentados os resultados do cálculo dos acréscimos de tensões ao longo da profundidade e os recalques de cada camada para a sapata S1, sem considerar a interação entre os elementos de fundações. Como pode ser observado, o valor do acréscimo de tensão diminui conforme aumenta a profundidade, ou seja, as camadas mais superficiais são as que recebem as maiores parcelas do carregamento aplicado. Isso ocorre devido ao fato da distribuição dos acréscimos de tensões ocorrerem sobre áreas crescentes ao longo da profundidade.

Quadro 4 – Acréscimos de tensões e recalques de cada camada ao longo da profundidade para a sapata isolada S1

σ1 (kN/m²)	Profundidade (m)	∆h (m)	Es (Mpa)	B (m)	L (m)	b (m)	I (m)	m (m)	n (m)	I	I_{TOTAL}	∆σv (kN/m²)	*P* (mm)
253,98	0,3	0,6	26,25	1,7	1,7	0,85	0,85	2,83	2,83	0,24	0,97	246,53	5,64
253,98	0,9	0,6	26,25	1,7	1,7	0,85	0,85	0,94	0,94	0,17	0,67	170,2	3,89
253,98	1,5	0,6	63,0	1,7	1,7	0,85	0,85	0,57	0,57	0,1	0,4	100,76	0,96
253,98	2,1	0,6	63,0	1,7	1,7	0,85	0,85	0,4	0,4	0,06	0,24	62,03	0,59
253,98	2,8	0,8	159,25	1,7	1,7	0,85	0,85	0,3	0,3	0,04	0,15	38,32	0,19
253,98	3,7	1,0	128,63	1,7	1,7	0,85	0,85	0,23	0,23	0,02	0,09	22,05	0,17
253,98	5,2	2,0	26,25	1,7	1,7	0,85	0,85	0,16	0,16	0,01	0,05	12,29	0,94
RECALQUE TOTAL = 12,38 mm													

Fonte: Próprio autor (2018).

Já no Quadro 5, são mostrados os resultados do cálculo dos recalques totais das sapatas sem considerar a interação entre elas, ou seja, considerando seu próprio carregamento.

Quadro5 – Recalques totais das sapatas isoladas – sem interação

Sapata	ρ_T(mm)
S1	12,38
S2	12,38
S3	14,30
S4	1,03
S5	15,06
S6	11,84
S7	13,44
S8	6,82
S9	9,02
S10	16,69
S11	7,66
S12	15,71
S13	7,10
S14	17,76
S15	4,96
S16	15,36
S17	7,96
S18	6,16
S19	9,45
S20	11,51
S21	5,73
S22	5,08

Fonte: Próprio autor (2018).

Nota-se que os recalques obtidos são proporcionais ao carregamento em cada elemento, sendo que as sapatas mais carregadas apresentam maiores recalques.

- **Cálculo dos recalques considerando a interação entre o elemento de fundação**

Para fazer a análise da interação entre os elementos, considerou-se o raio de influência sendo três vezes a sua maior dimensão para uma determinada sapata isolada, como pode ser observado na Figura 7, que mostra que a sapata S14 exerce influência nos elementos S10, S11, S17, S18 e S20, além dela mesma.

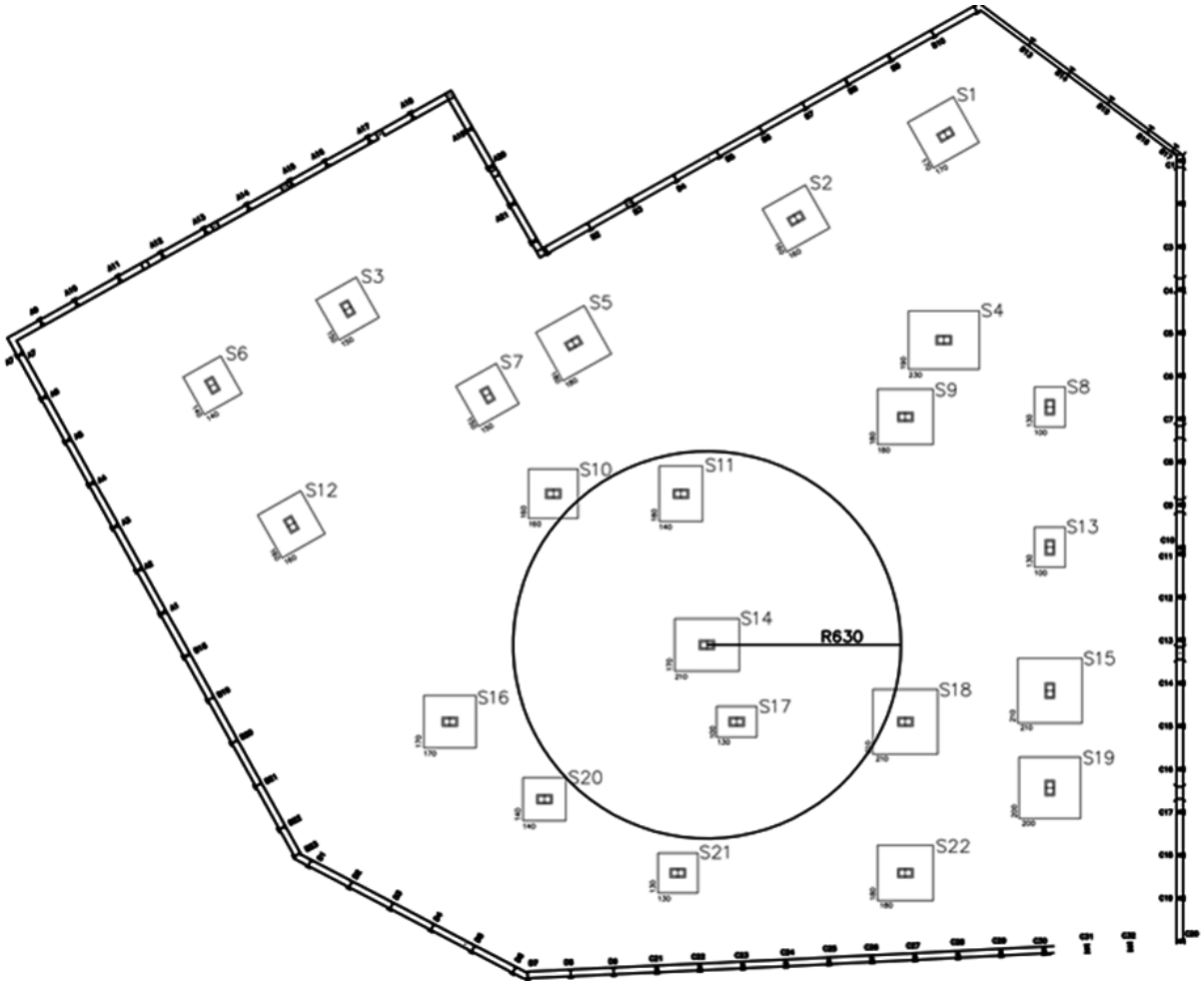

Figura 7 – Raio de influência - Sapata 14
Fonte: Próprio autor (2018).

No Quadro 6, é exposta uma relação da interação entre as sapatas, indicando quais elementos da fundação exercem influência sobre as sapatas isoladas.

Quadro 6 – Interações entre sapatas

SAPATAS ISOLADAS	SAPATAS QUE EXERCEM INFLUÊNCIAS
S1	S1 e S2
S2	S1, S2 e S4
S3	S3, S6 e S7
S4	S1, S2, S4, S8, S9 e S13
S5	S5, S7, S10 e S11
S6	S6
S7	S3, S5, S7 e S10
S8	S4, S8 e S9
S9	S4, S8 e S9
S10	S5, S7, S10 e S11
S11	S5, S10, S11 e S14
S12	S6 e S12
S13	S13 e S15
S14	S10, S11, S14, S17, S18 e S20
S15	S13, S15, S18 e S19
S16	S16 e S20
S17	S14 e S17
S18	S14, S15, S17, S18, S19 e S22
S19	S15, S18, S19 e S22
S20	S16, S20 e S21
S21	S21
S22	S18, S19 e S22

Fonte: Próprio autor (2018).

Dentre as sapatas citadas no Quadro 6, foram calculados os recalques totais para as sapatas S1, S6, S10, S14 e S16 considerando a influência que os elementos vizinhos exercem sobre elas. Optou-se por estas sapatas para observar as deformações de sapatas localizadas na borda e na região central da área carregada.

Os Quadros 7 e 8 apresentam os recalques influenciados pela sapata S1 na S2 e pela sapata S2 na S1. Ao observar os recalques induzidos pelas sapatas S1 e S2, nos Quadros (7 e 8), nota-se que os valores induzidos por S2 em S1, são menores que os valores induzidos por S1 nesta. Isto se deve ao fato do carregamento e as dimensões da sapata S2 serem menores do que os da sapata S1. Com isso, percebe-se que os recalques são proporcionais à carga e ao tamanho dos elementos de fundações.

Quadro 7 - Interação entre as sapatas S1 e S2 – Recalque que a sapata S1 provoca na S2

z (m)	Δ_h (m)	Es (Mpa)	a1 (m)	b1 (m)	a2 (m)	b2 (m)	a3 (m)	b3 (m)	a4 (m)	b4 (m)	I_{TOTAL}	$\Delta\sigma_v$ (kN/m²)	ρ(mm)	$\Delta\sigma_v$ S2	$\Delta\sigma_v$total	ρ_t (mm)
0,3	0,6	26,25	0,8	6,37	0,8	6,37	0,8	4,77	0,8	4,77	0,004	0,975	0,0223	246,53	247,51	5,66
0,9	0,6	26,25	0,8	6,37	0,8	6,37	0,8	4,77	0,8	4,77	0,002	0,488	0,0111	170,2	170,68	3,9
1,5	0,6	63	0,8	6,37	0,8	6,37	0,8	4,77	0,8	4,77	0,001	0,244	0,0023	100,76	101	0,96
2,1	0,6	63	0,8	6,37	0,8	6,37	0,8	4,77	0,8	4,77	0,0008	0,195	0,0019	62,03	62,23	0,59
2,8	0,8	159,25	0,8	6,37	0,8	6,37	0,8	4,77	0,8	4,77	0,0004	0,098	0,0005	38,32	38,42	0,19
3,7	1	128,63	0,8	6,37	0,8	6,37	0,8	4,77	0,8	4,77	0,0002	0,049	0,0004	22,05	22,09	0,17
5,2	2	26,25	0,8	6,37	0,8	6,37	0,8	4,77	0,8	4,77	0,0001	0,024	0,0019	12,29	12,32	0,94
RECALQUE TOTAL = 12,41 mm																

Fonte: Próprio autor (2018).

Quadro 8 - Interação entre as sapatas S1 e S2 – Recalque que a sapata S2 provoca na S1

z (m)	Δ_h (m)	Es (Mpa)	a1 (m)	b1 (m)	a2 (m)	b2 (m)	a3 (m)	b3 (m)	a4 (m)	b4 (m)	I_{TOTAL}	$\Delta\sigma_v$ (kN/m²)	ρ(mm)	$\Delta\sigma_v$ S2	$\Delta\sigma_v$total	ρ_t (mm)
0,3	0,6	26,25	0,95	6,4	0,75	6,4	0,95	4,7	0,75	4,7	0,003	0,762	0,0174	235,3	236,06	5,4
0,9	0,6	26,25	0,95	6,4	0,75	6,4	0,95	4,7	0,75	4,7	0,0019	0,483	0,011	157,08	157,56	3,6
1,5	0,6	63	0,95	6,4	0,75	6,4	0,95	4,7	0,75	4,7	0,001	0,254	0,0024	91,65	91,9	0,88
2,1	0,6	63	0,95	6,4	0,75	6,4	0,95	4,7	0,75	4,7	0,0003	0,076	0,0007	53,79	53,87	0,51
2,8	0,8	159,25	0,95	6,4	0,75	6,4	0,95	4,7	0,75	4,7	0,0002	0,051	0,0003	33,07	33,12	0,17
3,7	1	128,63	0,95	6,4	0,75	6,4	0,95	4,7	0,75	4,7	0,0001	0,025	0,0002	20,15	20,18	0,16
5,2	2	26,25	0,95	6,4	0,75	6,4	0,95	4,7	0,75	4,7	0,0001	0,02	0,0015	10,48	10,5	0,8
RECALQUE TOTAL = 11,51 mm																

Fonte: Próprio autor (2018).

No Quadro 9, são mostrados os recalques totais das sapatasS1, S6, S10, S14 e S16, bem como os recalques induzidos pelos elementos vizinhos que exercem influência sobre elas.

Analisando-se os recalques totais obtidos, é possível observar que ao se considerar a interação entre as fundações, os valores dos recalques aumentam, sendo que cada elemento vizinho acrescenta um pouco de recalque em uma determinada sapata.

Quadro 9 – Recalques totais das sapatas considerando e não considerando influências

	SAPATA QUE SOFRE RECALQUE (mm)					
SAPATA CARREGADA		S1	S6	S10	S14	S16
	S1	12,3761				
	S2	0,0403				
	S3					
	S4					
	S5			0,1273		
	S6		11,8425			
	S7			0,0525		
	S8					
	S9					
	S10			16,6852	0,0301	
	S11			0,0518	0,0341	
	S12					
	S13					
	S14				17,7593	
	S15					
	S16					15,3605
	S17				0,0469	
	S18				0,0244	
	S19					
	S20				0,0551	0,0230
	S21					
	S22					
RECALQUE TOTAL (mm)		12,42	11,84	16,92	17,95	15,38

Fonte: Próprio autor (2018).

- **Comparação dos resultados obtidos com e sem interação entre os elementos de fundações**

Na Figura 8, é exposto um gráfico comparativo entre os recalques totais das sapatas S1, S6, S10, S14 e S16 considerando e sem considerar a interação entre as mesmas.

As fundações que possuem um maior número de interferências têm o seu recalque aumentado em uma proporção superior, ou seja, quanto maior o número de interações, maior o valor do recalque. Enquanto a sapata S1, que tem influência de 1 sapata além dela mesma, tem o seu recalque total aumentado em aproximadamente 0,3%, a sapata S14, que recebe influência de 5 sapatas além dela mesma, tem o seu recalque total aumentado em torno de 1,1%.

Pode-se observar também que as sapatas posicionadas nas bordas (S1, S6 e S16) possuem recalques totais menores do que as localizadas no centro (S10 e S14) da planta de locação da fundação (Figura 6). Isto pode ser devido ao fato de haver um maior número de interações entre as sapatas na região central e à carga aplicada sobre as sapatas do centro ser maior.

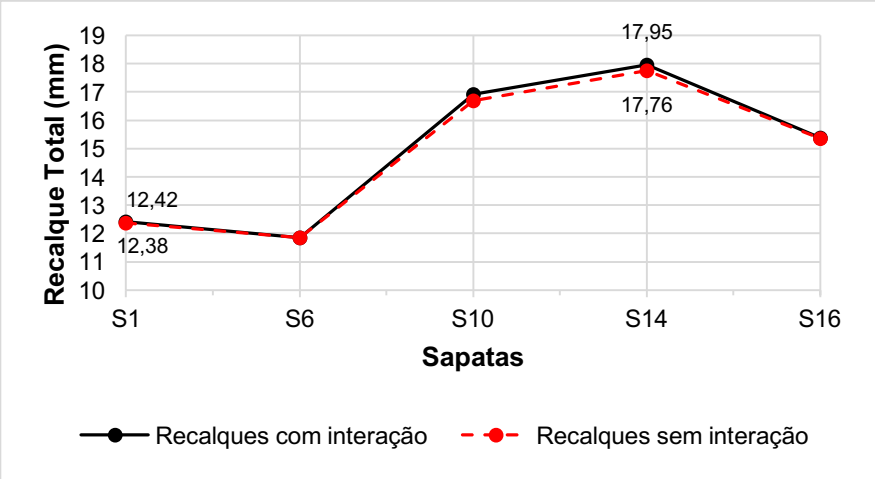

Figura 8 – Recalques das sapatas considerando e sem consideração a interação entre os elementos de fundações
Fonte: Próprio autor (2018).

Conclusões

Ao se analisar os recalques totais obtidos para as sapatas sem interação e as com interação, concluiu-se que as sapatas com interação alcançaram um valor de recalque maior, devido às sapatas com interação sofrerem influência e receber cargas provindas de outras fundações.

A previsão de recalques das sapatas na região central, ao se considerar a interação entre os elementos de fundação da obra, mostrou que os efeitos nesta região são superiores, pois estas sapatas sofrem maiores influências que os elementos das bordas.

Comparando-se os resultados da previsão de recalques com e sem o efeito da interação, observa-se que ao fazer este tipo de análise nos elementos isoladamente é uma forma simples de se analisar o problema, pois não corresponde ao comportamento real das deformações no solo, sendo que os recalques não dependem apenas do carregamento de cada elemento e são influenciados pela sobreposição das tensões dos elementos vizinhos.

Os recalques estão diretamente relacionados com o tipo de solo, carregamento aplicado e a interação entre as fundações. Sendo assim, são importantes que sejam realizadas as previsões de recalques de uma fundação ao projetá-la, pois esta estimativa permite observar o comportamento da fundação quando ela é solicitada.

Agradecimentos

Agradecemos primeiramente a Deus, que nos deu o dom da vida e nos abençoam todos os dias com o seu amor infinito. Somos gratos aos nossos pais e familiares, que nos apoiaram muito com palavras de incentivo. Agradecemos aos professores, que serviram de exemplo para que tornássemos profissionais melhores a cada dia. Aos amigos, meu muito obrigado, por torcerem e vibrarem com a nossa conquista**.**

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6122: Projeto e Execução de Fundações. Rio de Janeiro, 2010.

AZEREDO, H. A. O edifício e sua cobertura. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1977. 192 p.

CALISTO, A.; KOSWOSKI, R. Efeito do recalque diferencial de fundações em estruturas de concreto armado e alvenaria de vedação: estudo de caso. 2015. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

CONSOLI, N. C.; MILITITSKY, J.; SCHINAID, F. Patologias das Fundações. 1ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 191 p.

MAGALHÃES, P. H. L., Avaliação dos métodos de capacidade de carga e recalque de estacas hélice contínua via prova de carga. Dissertação de mestrado em Geotecnia - Faculdade de Tecnologia - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília, 2005.

PINTO, C. S. Curso Básico Mecânica dos Solos. 3ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 355 p.

SILVA, E. L. Análise dos modelos estruturais para determinação dos esforços resistentes em sapatas isoladas. 145 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1998.

VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. Fundações. Rio de Janeiro: Oficina de Textos, 2010. 226 p.