



Dimensionamento de Fundações Superficiais Considerando os Mecanismos da Interação Solo-Estrutura

Yago Ryan Pinheiro dos Santos

Doutorando em Engenharia Civil, UFPE, Recife, Brasil, yago.pinheiro@ufpe.br

Denney Wesley da Silva

Graduando em Engenharia Civil, UNINASSAU, Caruaru, Brasil, denneyf4@gmail.com

Joandson Dyego da Silva

Graduando em Engenharia Civil, UNINASSAU, Caruaru, Brasil, joandson_infra@hotmail.com

Yara Jordon

Graduando em Engenharia Civil, UNINASSAU, Caruaru, Brasil, jordonyara@gmail.com

Luiz Henrique Bezerra Lins Júnior

Graduando em Engenharia Civil, UNINASSAU, Caruaru, Brasil, luizhenriquedrip@gmail.com

RESUMO: O estudo objetiva, através da análise da interação solo-estrutura, sua influência em um projeto de fundações superficiais de um edifício em concreto armado sobre maciço rochoso. Para as análises, os elementos de fundação foram dimensionados considerando os apoios rígidos e flexíveis - este último representando tal interação pelos coeficientes de mola "K", obtidos pela razão entre as cargas resultantes obtidas em cada pilar e os recalques sofridos por eles obtidos via monitoramento em campo, gerando redistribuição de cargas entre os elementos. As comparações entre os projetos consistiram em mudanças na geometria (altura da base, comprimento e largura) e no consumo de materiais (concreto e aço). Foram encontradas alterações no comprimento e largura da base em 81,25% dos elementos. O volume de concreto foi o mais influenciado pela redistribuição, implicando mudanças em torno de 18% na quantidade de material para um dos elementos analisados; entretanto, considerando os elementos de projeto como um todo, houve compensação para alterações de geometria e consumo de material entre as sapatas aliviadas e com sobrecarga. Fatores como interação entre os elementos, deformabilidade do terreno, assimetria da planta da edificação e localização dos pilares mais e menos carregados influenciam na interação e, conseqüentemente, no dimensionamento das fundações.

PALAVRAS-CHAVE: Sapatas, Maciço rochoso, Apoios flexíveis, Concreto armado.

ABSTRACT: The study aims, through soil-structure interaction analysis, its influence on shallow foundations design of a reinforced concrete building on a rocky mass. For the analyses, the foundation elements were dimensioned considering the rigid and flexible supports - the latter representing such interaction by the "K" spring coefficients, obtained by the ratio between the resulting loads obtained in each column and the settlements suffered by them obtained through field monitoring, generating load redistribution between elements. Comparisons between design elements consisted of changes in geometry (base height, length and width) and material consumption (concrete and steel). Alterations in length and width base were been found in 81.25% of the elements. Concrete volume was the most influenced by interaction, implying changes of around 18% in the amount of material for one of the analyzed elements; however,

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.





considering the design elements as a whole, there was compensation for geometry changes and material consumption between the relieved and loaded footings. Factors such as interaction elements, terrain deformability, asymmetry of the building plan and location of more and less loaded columns influence the interaction and, consequently, the foundations design.

KEYWORDS: Footings, Rocky mass, Flexible Supports, Reinforced concrete.

1 Introdução

É essencial considerar a interação entre os diferentes elementos que compõem estruturas em concreto armado e o subsolo que dá suporte à essas estruturas, pois tal interação governa o comportamento real das construções (GUSMÃO, 1994), proporcionando a elaboração de projetos mais próximos ao seu comportamento real, com mais segurança, maior economia e melhor desempenho.

Embora grande parte dos projetos de edificações considerem seus apoios indeslocáveis, uma representação mais realista pode ser adotada considerando seus apoios flexíveis, baseado no modelo de Winkler (1867), que representa o terreno como uma superfície de infinitas molas de forma que as mesmas sofrem deformações sem que haja comunicação entre o ponto de aplicação da força e a aplicação de outras forças na vizinhança, cujas molas seriam descritas por coeficientes de rigidez “K”. Nesta consideração de apoios flexíveis, há uma tendência de redistribuição de carregamentos entre os pilares da edificação, havendo alívio nos pilares mais carregados e ganho nos pilares menos solicitados (SANTOS *et al.*, 2021).

Meyerhof (1953), Morris (1966), Lee e Brown (1972), Poulos e Davis (1980), Poulos (2013), Sales *et al.* (2017) e Bernardes *et al.* (2019) apresentaram análises sobre interação solo-estrutura, avaliando fatores envolvendo elementos da fundação, recalques e comportamento dos elementos da superestrutura.

Ao observar a interação solo-estrutura em um caso real de obra durante etapas de sua construção, Santos (2016) observou, quanto à redistribuição de cargas da estrutura, o maior alívio de carga em um pilar externo no valor de 16% e o maior acréscimo de carga em um pilar interno, no valor de 19%, embora tenha observado um maior número de pilares internos com alívio de cargas e um maior número de pilares externos com acréscimo de cargas; tal comportamento é atribuído a assimetria da estrutura, ao posicionamento periférico do núcleo rígido da edificação e ao reduzido número de pavimentos que compõe a edificação.

Gusmão *et al.* (2020) analisando a interação em casos reais de obras em que foram realizados monitoramento de recalques e prova de carga estática, observaram o processo de redistribuição de carregamento com a adoção de coeficientes de mola na base de suas fundações, havendo uma transferência de carregamento dos pilares que apresentaram inicialmente recalques maiores que o recalque médio para os pilares que apresentaram recalques menores que o recalque médio. Outros estudos envolvendo casos reais de obras, descritos por Danziger *et al.* (2005) e Silva Júnior (2021) confirmam a importância da interação solo-estrutura na elaboração de projetos com comportamento mais realista.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



Este trabalho traz uma análise da influência da redistribuição de carregamentos entre os pilares imposta pela adoção de apoios flexíveis em um projeto de fundações superficiais de uma edificação em concreto armado, verificando-se as mudanças de geometria e consumo de materiais entre os elementos de sapatas isoladas e associadas que compõem a infraestrutura do caso de obra em estudo.

2 Material e Métodos

2.1 Apresentação do Caso de Obra

O caso de obra em estudo trata-se de um edifício residencial composto de 35 pavimentos-tipo apresentado e intitulado por (SANTOS, 2018) de “torre B”, feito em concreto armado e que apresenta em sua arquitetura 18 pilares (Figura 1a) para a distribuição de carregamentos, composto ainda por dois pavimentos de estacionamento, pavimento de cobertura e ático, formando um pórtico que inclui lajes, vigas e pilares na superestrutura. O edifício situa-se na Cidade de Caruaru-PE, Brazil, localizado na região do Planalto da Borborema, cuja investigação geotécnica na área da construção foi realizada por meio de sondagens SPT e rotativa (SM-07, SM-08, SM-09, SM-10, SM-C e SM-D), apontando uma variação de cotas entre 6,25 m e 8,37 m, com a presença de aterro arenoso na superfície, camada de solo arenoso com pedregulhos de cor clara e material rochoso até o fim da profundidade investigada, com RQD predominantemente superior a 75% e ausente de nível d’água (Figura 1b).

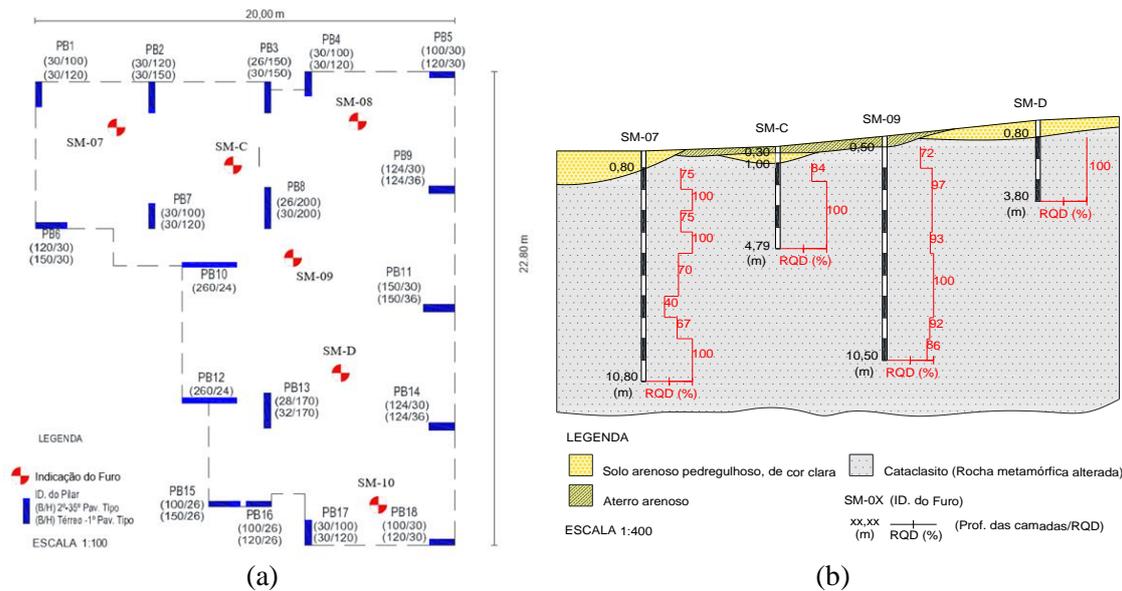


Figura 1. Apresentação do caso de obra: (a) Locação dos pilares da edificação e dos furos de sondagem executados e; (b) perfil geotécnico do terreno (SANTOS, 2018).

2.2 Considerações sobre a Interação Solo-Estrutura (ISE) e Dimensionamento do Projeto de Fundações

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.



A análise de redistribuição de esforços entre os pilares foi mostrada por Santos (2018) em que levou em consideração a adoção de suportes flexíveis representados por coeficientes de mola de rigidez “K” em cada um dos apoios analisados obtidos na análise denominada (ISE Caso 1), através da equação 1:

$$K_i = \frac{F_i}{\delta_i} \quad (1)$$

em que F_i (kN) é o carregamento resultante nos apoios obtidos por modelagem estrutural via CAD/TQS considerando os elementos construtivos reais para cada estágio de obra analisado e δ_i (m) é o recalque absoluto obtido através de monitoramento de campo.

Os valores de K_i foram empregados na modelagem estrutural representando a deslocabilidade dos apoios da edificação, gerando, para cada estágio de obra, novos valores de carregamentos nos pilares. Para este trabalho, serão considerados apenas os valores de carregamentos e de recalques absolutos referentes ao estágio de finalização da obra, por se tratar de uma análise para fins de verificação de dimensionamento de fundação. A Tabela 1 relaciona os valores de recalques absolutos, carregamentos sem a consideração da interação (apoios rígidos) e com a consideração da interação (apoios flexíveis), e a diferença de carregamentos (%) entre os 18 pilares após a interação.

Tabela 1. Recalques (mm), carregamentos (kN) e diferença de carregamento (%) para os casos considerados.

Pilar	δ_i (mm)	F_i – apoios rígidos (kN)*	F_i – apoios flexíveis (kN)*	Diferença de carregamento (%)
PB1	3,92	5307,21	5684,90	7,12
PB2	7,50	8408,15	8475,84	0,81
PB3	11,02	6839,53	6438,30	-5,87
PB4	11,11	6262,70	6175,40	-1,39
PB5	11,00	5155,16	5203,22	0,93
PB6	6,91	6024,32	5738,85	-4,74
PB7	7,39	8505,27	8414,04	-1,07
PB8	8,10	12435,16	12833,44	3,20
PB9	11,00	10159,24	10131,77	-0,27
PB10	7,72	7014,15	6966,08	-0,69
PB11	10,50	13207,20	12891,32	-2,39
PB12	5,65	8086,38	8236,48	1,86
PB13	6,35	13894,88	13625,11	-1,94
PB14	5,41	10981,31	11387,45	3,70
PB15	4,63	1753,05	1683,40	-3,97
PB16	4,45	8932,01	9287,13	3,98
PB17	6,66	5321,93	4992,31	-6,19
PB18	4,91	4897,15	4944,24	0,96

*Santos (2018).

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.



Foi estabelecido uma capacidade de carga de 2760 kPa, considerando as formulações de

Terzaghi e Peck (1948) com as proposições de Vèsic (1975), e fator de segurança igual à 3,0 (recomendado para fundações diretas sem realização de prova de carga), com tensão admissível de 800 kPa para o terreno de fundação e majoração de 15%, de acordo com a NBR 6122 (2019), referente à carga variável principal do vento incidente na edificação, obtendo-se um valor de 920 kPa. Adotou-se como solução para o projeto em questão, a utilização de sapatas isoladas e associadas em concreto armado, esta última empregada para o caso de haver sobreposição da projeção das bases de sapatas isoladas adjacentes. Tais elementos foram projetados considerando as recomendações previstas pela NBR 6118 (2014), NBR 6122 (2019) e CEB (1970).

Os elementos geométricos foram determinados em termos de área da base A_b (m^2) (Equação 2), comprimento A (m) e largura B (m) da base e altura total H (m), cujo volume total do elemento V (m^3) (Equação 3) a ser considerado para o cálculo do consumo de concreto pode ser dado pelo somatório do volume da base V_b (m^3) (Equação 4) e volume do tronco de pirâmide V_p (m^3) (Equação 5):

$$A_b = A.B \quad (2)$$

$$V = V_b + V_p \quad (3)$$

$$V_b = A.B.H_0 \quad (4)$$

$$V_p = \frac{H - H_0}{3} \cdot [(A.B) + (a_p.b_p) + \sqrt{(A.B) \cdot (a_p.b_p)}] \quad (5)$$

em que A , B , H_0 , a_p e b_p são o comprimento da base (m), largura da base (m), altura da face vertical da sapata (m), lado maior do pilar (m) e lado menor do pilar (m), respectivamente.

A área de aço foi dimensionada de acordo com os esforços de flexão, adotando-se aço CA-50, determinando a quantidade de aço necessária para suportar a flexão atuante na seção nas direções do comprimento e da largura dos elementos (Equação 6):

$$A_s = \frac{M_d}{0,85 \cdot d \cdot f_{yd}} \quad (6)$$

em que A_s , M_d , d e f_{yd} é a Área de aço (cm^2), Momento Fletor nas direções do comprimento e largura da base (kN.cm), Altura útil (cm) e tensão de tração de projeto do aço (kN/cm^2), respectivamente. Todas as verificações referentes à segurança e desempenho estrutural dos elementos foram realizadas, assim como a adoção de cobrimento das armaduras e coeficientes de segurança.

3 Resultados e Discussão

3.1 Efeitos da Interação Solo-Estrutura na redistribuição de carregamentos entre pilares

A Figura 2a compara a distribuição de carregamentos resultantes que chegam até a fundação considerando os apoios rígidos (sem ISE) com a distribuição de carregamentos resultantes considerando os apoios flexíveis (Figura 2b).

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



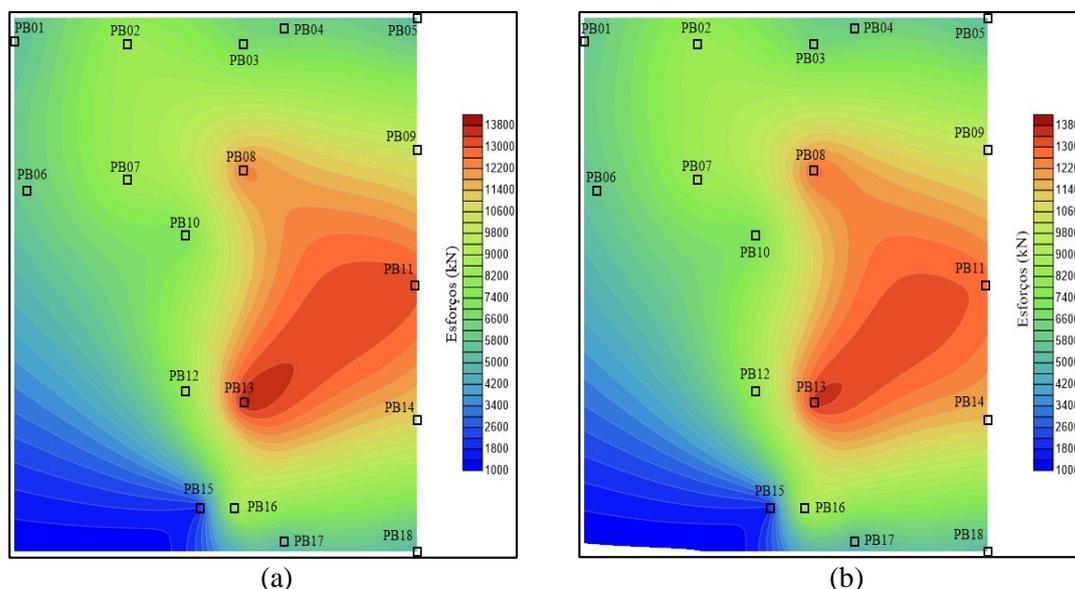


Figura 2. Carregamentos resultantes considerando: (a) apoios rígidos e; (b) apoios flexíveis.

Pode ser visto uma manutenção nos pontos mais carregados (em vermelho) e menos carregados (em azul) da planta, havendo alívio do pilar mais carregado (PB13) de -1,94%, evidenciado pela redução da região em vermelho escuro próxima ao elemento, fato esperado pela interação (GUSMÃO, 1990; GUSMÃO, 1994). O maior acréscimo de carga é observado no pilar PB01 (7,12%), localizado na extremidade; contudo, o maior alívio foi observado em PB17 (-6,19%) que, por também estar localizado na extremidade e apresentar baixo carregamento, esperava-se um acréscimo de carga após interação. Tal comportamento apresentado em PB17 pode ser atribuído à assimetria da planta da edificação com poucos pilares internos, também evidenciado por Santos (2016).

3.2 Efeitos da Interação Solo-Estrutura na Geometria dos Elementos de Fundação

A Tabela 2 apresenta as dimensões de comprimento (A), largura (B), altura total (H) e área da base das sapatas sem ISE (apoios rígidos) e com ISE (apoios flexíveis), respectivamente, juntamente com a variação, em %, entre as áreas da base antes e após a interação.

Devido à localização dos pilares PB12 e PB13, houve a sobreposição das bases das sapatas SB12 e SB13, o que também foi observado entre as sapatas SB15 e SB16, sendo necessário o dimensionamento de sapatas associadas para os casos específicos, sendo elas SB12/13 e SB15/16, respectivamente. As maiores variações de seção (A_b) foram observadas nas sapatas SB08, com aumento de 5,38%, e SB06, com redução de -7,35%, ambas com variações em torno do seu comprimento (A) e largura (B). Observa-se ainda que, os elementos SB02, SB05 e SB18 não apresentaram variação de seção, nem ao menos variações em uma de suas dimensões A ou B. tais elementos apresentaram, após a interação, acréscimos de carregamento inferiores a 1%, não sendo o suficiente para haver mudanças em sua geometria. Pouco influenciada pela interação, as Alturas dos elementos sofreram variações máximas de 5 cm nos elementos PB8, PB15/16 (aumento) e PB03, PB06 e PB17 (redução).

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



Tabela 2. Dimensões das sapatas considerando apoios rígidos (s/ise) e flexíveis (c/ise).

sapata/apoio	A (m)		B (m)		H (m)		Área Base A_b (m ²)		
	s/ise	c/ise	s/ise	c/ise	s/ise	c/ise	s/ise	c/ise	variação (%)
SB01	3,05	3,10	2,15	2,20	0,65	0,65	6,55	6,82	4,12
SB02	3,85	3,85	2,65	2,65	0,80	0,80	10,20	10,20	0,00
SB03	4,55	4,40	1,85	1,80	1,05	1,00	8,41	7,92	-5,83
SB04	4,35	4,30	1,75	1,75	1,05	1,05	7,61	7,52	-1,18
SB05	3,00	3,00	2,10	2,10	0,60	0,60	6,30	6,30	0,00
SB06	3,40	3,30	2,20	2,10	0,65	0,60	7,48	6,93	-7,35
SB07	4,20	4,15	2,45	2,45	1,00	1,00	10,29	10,16	-1,26
SB08	4,80	4,90	3,10	3,20	0,95	1,00	14,88	15,68	5,38
SB09	4,00	3,95	3,10	3,10	0,95	0,95	12,40	12,24	-1,29
SB10	4,35	4,30	1,95	1,95	0,60	0,60	8,48	8,38	-1,18
SB11	4,60	4,55	3,45	3,40	1,05	1,05	15,87	15,47	-2,52
SB12/13	8,15	8,10	3,25	3,25	1,85	1,85	26,49	26,32	-0,64
SB14	4,10	4,20	3,25	3,30	1,00	1,00	13,32	13,86	4,05
SB15/16	4,45	4,50	2,95	3,00	1,05	1,10	13,13	13,50	2,82
SB17	3,40	3,30	1,90	1,85	0,75	0,70	6,46	6,10	-5,57
SB18	2,95	2,95	2,05	2,05	0,60	0,60	6,04	6,04	0,00

A Figura 4 apresenta as seções da área da base das sapatas que apresentaram aumento de seção (em verde), redução de seção (em vermelho) e manutenção da seção (em azul).

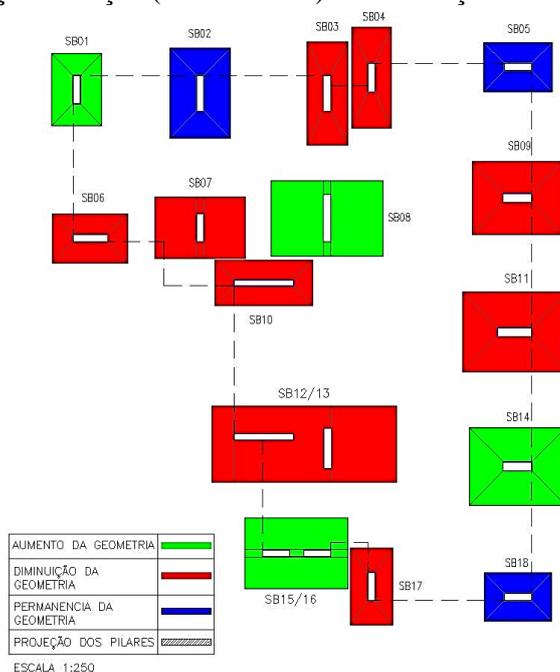


Figura 3. Seção da base das sapatas considerando a ISE, indicando aumento de seção (em verde), diminuição de seção (em vermelho) e manutenção de seção (em azul).

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.



Observa-se uma variação de seção em 13 dos 16 elementos de fundação superficial dimensionados, representando 81,25% das sapatas, destacando-se ainda que, destes, 4 elementos tiveram aumento de seção (25%) e 9 apresentaram redução de seção (56,25%). Analisa-se ainda que, as sapatas externas apresentaram mais redução de seção do que aumento de seção, fato este que pode ser atribuído à assimetria em planta da edificação e à localização dos pilares mais e menos carregados (SANTOS, 2016, SANTOS *et al.* 2021).

3.3 Efeitos da Interação Solo-Estrutura no Consumo de Materiais

A Tabela 3 apresenta a variação entre os quantitativos de materiais (concreto e aço) necessários para a execução das sapatas nos dois cenários analisados (sem ISE e com ISE).

Tabela 3. variação entre os quantitativos de materiais (concreto e aço) para a execução das sapatas nos dois cenários analisados (sem ISE e com ISE).

sapata	Volume de concreto (m ³)		variação (%)	As (cm ²)		variação (%)
	s/ise	c/ise		s/ise	c/ise	
SB01	2,68	2,79	4%	140,32	154,61	10,2%
SB02	5,08	5,08	0%	227,26	229,09	0,8%
SB03	5,32	4,86	-9%	134,21	126,86	-5,5%
SB04	4,76	4,70	-1%	124,12	120,98	-2,5%
SB05	2,27	2,27	0%	144,45	145,80	0,9%
SB06	3,09	2,53	-18%	162,73	159,76	-1,8%
SB07	6,16	6,09	-1%	200,68	196,52	-2,1%
SB08	8,77	9,53	9%	333,68	338,47	1,4%
SB09	7,22	7,14	-1%	270,81	267,54	-1,2%
SB10	3,15	3,12	-1%	187,11	183,36	-2,0%
SB11	9,89	9,65	-2%	356,55	342,10	-4,1%
SB12/13	41,52	41,31	-1%	447,00	441,82	-1,2%
SB14	8,00	8,31	4%	290,69	309,68	6,5%
SB15/16	9,81	10,65	9%	299,68	305,90	2,1%
SB17	2,90	2,63	-9%	123,45	116,68	-5,5%
SB18	2,18	2,18	0%	133,20	134,48	1,0%
TOTAL	122,80	122,83	0,02%	3,575,93	3573,65	-0,06%

Observa-se que o elemento SB12/13 apresenta uma diferença expressiva de consumo de concreto em relação aos demais elementos, por se tratar da sapata com maior absorção de carregamentos da estrutura. Isso se conserva após a consideração da interação. As maiores diferenças podem ser observadas no elemento SB06, com redução de -18%, e nos elementos SB08 e SB15/16, com aumento no consumo de 9%, pelo fato desses elementos terem apresentado maiores variações em sua altura e área da base, valores considerados no cálculo do volume de material. Analisando o volume total de concreto utilizado para a execução do projeto, não houve uma economia expressiva no consumo deste material (redução de 0,02%), pois, ao mesmo tempo

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.



que as sapatas aliviadas com a redistribuição diminuíram de volume, as sapatas com acréscimo de carregamento aumentam de volume, havendo uma compensação final de valores entre os elementos, conservando-se o carregamento resultante total.

Observa-se mudanças no quantitativo de aço em todas as sapatas analisadas, apresentando um maior acréscimo em SB01 (10,20%) e maior redução em SB17 (-5,50%), cujos elementos apresentaram maior e menor acréscimo de carregamento após a interação, respectivamente. Nota-se ainda que, para todos os pilares analisados, aqueles que apresentaram acréscimo de carregamento aumentaram o consumo de aço, pois o momento solicitante é maior, havendo uma maior necessidade de aço para absorver os esforços de flexão atuantes nos apoios; para os que apresentaram redução de carregamento, este consumo diminuiu, necessitando de menor área de aço para absorver os momentos de flexão atuantes, os quais são menores pelo alívio de cargas promovido pela redistribuição.

4 Conclusões

Em geral, observa-se que a interação solo-estrutura possui baixa influência nesta edificação, estando relacionado à baixa deformabilidade do terreno de suporte, impondo uma redistribuição de carregamentos insuficiente para haver mudanças de maior magnitude nos elementos de projeto da fundação. Dentre os aspectos de projeto observados, o volume de concreto das sapatas isoladas foi o mais sensível à redistribuição, o qual é dependente de variações da altura, comprimento e largura das sapatas, apontando diferenças em torno de 18% comparando-se o caso de apoios rígidos e apoios flexíveis. Analisando o projeto como um todo, não houveram mudanças significativas no consumo de materiais utilizado para a execução do projeto; tal consumo mantém-se pela transferência de carregamentos entre os elementos, em que, enquanto nos elementos onde se há alívio de carregamentos observa-se uma redução no consumo, nos elementos com acréscimo de carregamento observa-se um aumento no consumo, havendo uma compensação entre eles.

Ressalta-se a importância das análises de interação para construções de quaisquer tipos, visando a segurança, economia e desempenho da edificação, de modo a identificar o comportamento mais próximo da realidade em termos de identificação dos esforços atuantes nos elementos e das deformações sofridas por eles, às quais estão associadas à magnitude desses esforços das condições de terreno de suporte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014). NBR 6118: *Projeto de Estruturas de Concreto*, Rio de Janeiro, Brasil.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2019). NBR 6122: *Projeto e execução de fundações*, Rio de Janeiro, Brasil.
- Bernardes, H. C.; Carvalho, S. L.; Sales, M. M.; Almeida, S. R. M.; Farias, M. M.; Pinho, F. A. X. C. (2019) *Hybrid numerical tool for nonlinear analysis of piled rafts*, Soils and Foundations, vol. 59, no. 6, p. 1659-1674.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



- Comitê Euro-International du Beton (1970). *Recommendations particulières au calcul et à l'exécution des semelles de fondation*. Bulletin d'Information 73, Paris, França.
- Danziger, B. R., Carvalho, E. M. L.; Costa, R. V.; Danziger, F. A. B. (2005) Case study with soil-structure interaction analysis, *Civil Engineering Magazine*, vol. 23, p. 43-54.
- Gusmão, A. D. (1994) *Foundation-structure interaction on high-rise buildings*, Soils and Rocks, vol. 17, n. 1, p. 47-55.
- Gusmão, A. D., Silva, A. C.; Sales, M.M. (2020) *Foundation-structure interaction on high-rise buildings*, Soils and Rocks, vol. 43, no. 3, p. 441-459.
- Lee, I. K., Brown, P. T. (1971) Structure-foundation interaction analysis, *Journal of the Structural Division*, vol. 98, n. 11, p. 2413-2431.
- Meyerhof, G. G. (1953) *Some recent foundation research and its application to design*, Structural Engineering, vol. 31, p. 151-167.
- Morris, D. (1966) Interaction of continuous frames and soil media, *Journal of the Structural Division*, vol. 92, n. 5, p. 13-44.
- Poulos, H. G., Davis, E. H. (1980) *Pile foundation analysis and design* John Wiley and Sons, New York.
- Poulos, H. G. (2013) *Tall building foundation design - the 151 story Incheon Tower*, in Proc. 7th Inter Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, Missouri, USA, p. 1-13.
- Sales, M. M., Prezzi, M.; Salgado, R.; Choi, Y. S.; Lee, J. (2017) Load-settlement behaviour of model pile groups in sand under vertical load, *Journal of Civil Engineering and Management*, vol. 23, no. 8, p. 1148-1163.
- Santos, M. J. A. P. (2016) *A interação solo x estrutura: Análise de um caso de obra com acompanhamento dos assentamentos desde o início da construção*, Dissertação de mestrado, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil.
- Santos, Y. R. P., Bello, M. I. M. C. V.; Gusmão, A. D.; Patricio, J. D. (2021) *Soil-structure interaction analysis in reinforced concrete structures on footing foundation*, Soils and Rocks, vol. 44, n. 2, p. 1-12.
- Santos, Y. R. P. (2018) *Estudo da interação solo-estrutura de um caso de construção de fundações de massas rochosas*, dissertação de mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.
- Silva Jr. R. P., (2021) *Avaliação da interação solo-estrutura com monitoramento de sequência e análise da influência da sequência de construção no desempenho de piled rafts*, Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.
- Terzaghi, K., Peck, R. B. (1948) *Soil Mechanics in Engineering Practice*, John Wiley and Sons New York, USA.
- Vèsic, A. S. (1975) *Bearing capacity of shallow foundations*, Winterkorn HF and Fang HY, Foundation Engineering Handbook, p. 121-147, Van Nostrand Reinhold, New York, USA.
- Winkler, E. (1867) *Die lehre von elasticitaet und festigkeit*, Verlag H. Dominicus", (in German).

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.

