



Anais do
61º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2019
Outubro / 2019



@ 2019 - IBRACON - ISSN 2175-8182

ANÁLISE DA INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA EM EDIFÍCIOS DE CONCRETO ARMADO COM FUNDAÇÃO SUPERFICIAL

ANALYSIS OF SOIL-STRUCTURE INTERACTION IN REINFORCED CONCRETE BUILDINGS WITH SURFACE FOUNDATION

Marcos Felipe de Araújo Barbosa (1); Bruna de Sousa Franca (1); Flávio Vieira da Silva Júnior (2); Douglas Freitas Augusto dos Santos (2)

(1) Acadêmico de Engenharia Civil, FAPAC/ITPAC Porto

(2) Professor Mestre, Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações da FAPAC/ITPAC Porto
flaviovisiju@gmail.com; eng.prof.santos@gmail.com

Resumo

A análise da interação solo-estrutura (ISE) em fundações superficiais de edifícios de concreto armado é um importante parâmetro para se considerar, de forma mais próxima, o comportamento real do sistema estrutural e geotécnico em termos globais. Neste trabalho foi realizado um estudo da interação solo-estrutura com modelos computacionais, feitos no software SAP2000 utilizando o método dos elementos finitos (MEF) considerando vigas e pilares como elementos de barra, as lajes foram modeladas como elementos de casca "shell" e as sapatas isoladas como elementos de casca espesso, basicamente será analisado essa interação em dois modelos de edifícios de concreto armado. O primeiro modelo considera o solo como um apoio indeslocável, ou seja, a superestrutura engastada na fundação. Já o segundo modelo, é considerado a superestrutura e infraestrutura como um corpo único e na fundação são aplicados coeficientes de mola simulando a reação do solo. Os resultados de interesse são os deslocamentos laterais dos edifícios, a variação da estabilidade global do edifício e momentos fletores. Esses dados foram comparados entre o modelo indeslocável e com interação solo-estrutura, e, percebeu-se que há uma redistribuição dos esforços na edificação, aumentando sobretudo os deslocamentos e consequentemente os momentos fletores. Os resultados obtidos confirmaram a importância de se considerar a deformabilidade do solo, mesmo que seja a partir de modelos simplificados em substituição a modelos de apoios indeslocáveis, pois a primeira fornece uma análise estrutural mais realista.

Palavra-Chave: Concreto Armado, Análise Estrutural, Interação Solo-Estrutura.

Abstract

The analysis of soil-structure interaction (ISE) in surface foundations of reinforced concrete buildings is an important parameter to consider, more closely, the real behavior of the structural and geotechnical system in global terms. In this work a study of the soil-structure interaction with computational models made in SAP2000 software using the finite element method (MEF) considering beams and columns as bar elements, the slabs were modeled as shell elements and the Spread footing as thick shell elements, this interaction will basically be analyzed in two models of reinforced concrete buildings. The first model considers the ground as an fixed support, that is, the superstructure set in the foundation. Already the second model is considered the superstructure and infrastructure as a single body and in the foundation are applied spring coefficients simulating the reaction of the soil. The results of interest are the lateral displacements of the buildings, the variation of the overall stability of the building and bending moments. These data were compared between the fixed model and the model soil-structure interaction, and it was noticed that there is a redistribution of the efforts in the building, increasing mainly the displacements and consequently the bending moments. The results confirmed the importance of considering soil deformability even from simplified models instead of fixed support models since the former provides a more realistic structural analysis.

Keywords: Reinforced Concrete, Structural analysis, Soil-Structural Interaction.



Anais do
61º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2019
Outubro / 2019



@ 2019 - IBRACON - ISSN 2175-8182

1 Introdução

Muitas inovações têm surgido na Engenharia Civil, desde o descobrimento de novos métodos construtivos, materiais, tecnologias e softwares cada vez mais avançados o que têm possibilitado a construção de estruturas maiores e mais sofisticadas. Entretanto ainda está longe de se conhecer todas as reais situações que ocorrem nas edificações e suas aplicações, de forma mais consistente. Na maioria dos escritórios de projetos estruturais, a superestrutura é dimensionada separada da infraestrutura, considerando o solo como um maciço de apoio indeslocável, homogêneo e isotrópico (ANTONIAZZI, 2011).

O estudo da interação solo-estrutura (ISE) é um assunto muito complexo e trabalhoso, pois necessita de um processo interativo entre a superestrutura, infraestrutura e o maciço de solo o que faz com que esse tema seja desconsiderado pela maioria dos projetistas. Porém a desconsideração da ISE poderá acarretar em um dimensionamento menos eficiente, uma vez que, os esforços irão se redistribuir e deslocamentos maiores podem surgir (MAROSINI; NAVIA; CUNHA; 2014).

O método teórico mais eficiente seria obter a deformação do solo pelo processo da análise interativa tridimensional, pois o maciço do solo, a subestrutura e a superestrutura tornam-se um único sistema. Entretanto, uma maneira mais simplificada de quantificar o efeito da deformabilidade dos solos, embora menos precisa que a análise interativa, consiste em considerar uma série de molas discretas sob a base da fundação (SCARLAT, 1993).

2 Metodologia

2.1 Descrição do edifício

O objeto de estudo corresponde a um edifício hipotético, situado na cidade de Porto Nacional no Tocantins. Com aproximadamente 188m² de área, o mesmo possui 13,70 metros de altura a partir do nível 0 do terreno e comporta quatro (4) pavimentos, divididos em térreo com pé direito de quatro (4) metros e tipo com pé direito de três (3) metros. A planta baixa do mesmo se encontra na figura 1, demonstrando as divisões internas do edifício.

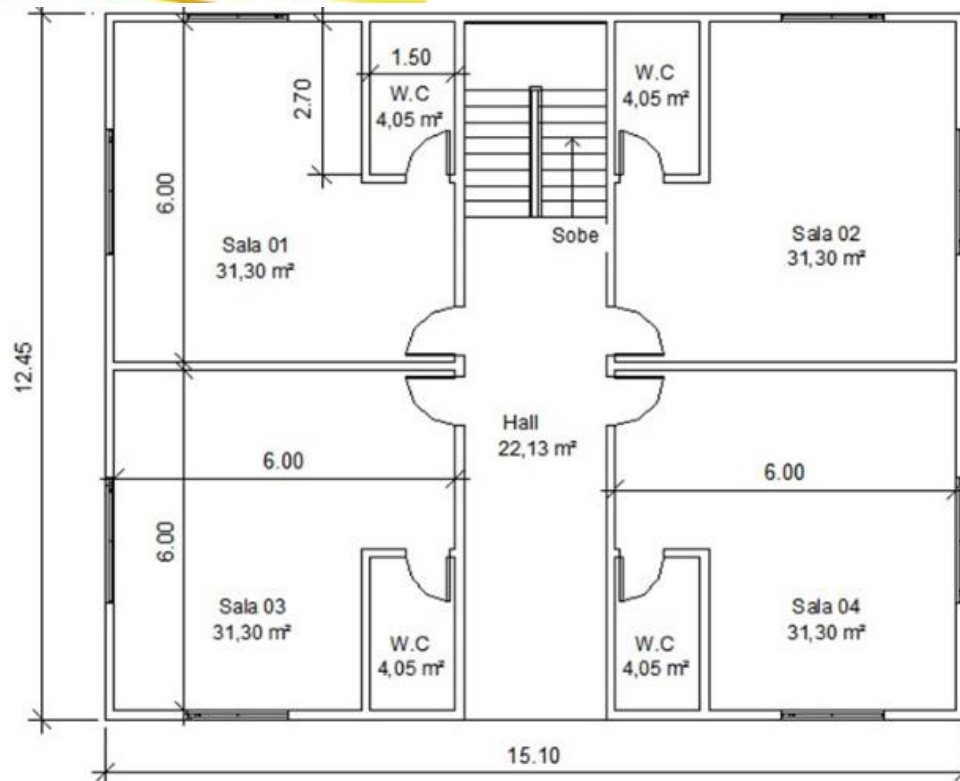


Figura 1 – Planta baixa da edificação

Sua estrutura é de concreto armado e apertada composta por lajes, vigas e pilares, com resistência característica de 30MPa e o módulo de elasticidade calculado pela expressão $E = \alpha_E \cdot 5600 \sqrt{f_{ck}}$, com $\alpha_E = 1,0$. A alvenaria de vedação considerada de bloco cerâmico furado. A fundação superficial utilizada foi do tipo sapata isolada com resistência característica do concreto de 25MPa. Toda a estrutura foi modelada no software SAP2000 V20.0, vigas e pilares foram compreendidos como elementos de barra, as lajes como elementos de casca (SHELL), devido sua rigidez os esforços laterais são transmitidos aos pilares, e as sapatas isoladas como elementos de casca espesso.

Para o edifício foram admitidos os carregamentos permanentes e acidentais, representados na Tabela 1, baseadas na NBR 6120 (1980). De modo a simplificar a consideração da carga de revestimento no projeto da edificação, foi adotado o valor recomendando pela NBR 6120 (1980) para acabamentos simples de 1kN/m².

Tabela 1 – Levantamento de carregamento na estrutura.

Tipo	Carregamento	Peso específico dos materiais (kN/m ³)
Permanente	Peso próprio da estrutura	25,0
Permanente	Alvenaria	13,0
Tipo	Carregamento	Valores mínimos das cargas verticais (kN/m ²)
Permanente	Revestimento	1,0
Acidental	Sobrecarga cobertura	0,5
Acidental	Sobrecarga tipo	2,0



2.2 Ação do vento

Ações horizontais podem ser caracterizadas pela força exercida do vento nos pórticos, e, para se calcular a velocidade característica do vento foi considerado conforme o mapa de isopletas presente na NBR 6123 (2013), um valor da velocidade básica do vento (V_0) para Porto Nacional-TO de 30m/s. Para o fator topográfico (S_1) conforme o item 5.2, foi considerado um terreno plano e pouco acidentado, resultando em um valor de $S_1=1,0$; Para o fator S_2 que é consequência da combinação dos efeitos de rugosidade do terreno, altura sobre o terreno e dimensões da edificação, foi admitida classe A (“maior dimensão da superfície frontal menor ou igual a 20 metros”) e classe IV (“terrenos cobertos por obstáculos numerosos e poucos espaçados, em zona florestal, industrial ou urbanizada”), obtendo os seguintes parâmetros $F_r=1,0$; $p=0,12$ e $b=0,86$. Por último, o fator estatístico (S_3), diz a respeito do grau de segurança e vida útil da edificação, se adequa ao grupo 2 (“edificações para hotéis e residência. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação”), sendo assim $S_3=1,0$.

A união de V_0 , S_1 , S_2 e S_3 , conforme a equação 1, resultou na Velocidade característica (V_k), que, seguindo a metodologia de cálculo, conforme a NBR 6123 (2013) foi possível obter as pressões dinâmicas aplicadas no modelo estrutural.

$$q = 0,613 \cdot V_k^2 = 0,613 \cdot (V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3)^2 \quad (\text{Equação 1})$$

2.3 Interação solo-estrutura

Os fundamentos encontrados em diversos trabalhos acadêmicos relatam que a Interação Solo-Estrutura é influenciada pela rigidez tanto do solo quanto da estrutura, a interferência do número de pavimentos, a presença de cintas, o acréscimo da rigidez devido à forma geométrica da planta da edificação e a atuação de edificações vizinhas. Para mais, as etapas de construção podem gerar recalques e reações divergentes à medida que o edifício vai sendo construído.

2.3.1 Coeficiente de reação vertical do solo

Para se realizar uma modelagem de certa estrutura com maior realidade à edificação construída, é preciso considerar um fator muito importante, o conhecimento das características do solo onde a edificação será implantada. Sendo assim, através destas informações se torna viável a simulação da interação solo-estrutura nos modelos estruturais, empregando-se molas (representando a deformabilidade do solo) (ANTONIAZZI, 2011).

As constantes de molas que representarão o solo são calculadas após a obtenção do coeficiente de reação vertical (K_v), que é somente a relação entre a tensão aplicada no solo (σ) e o recalque respectivo (p), de acordo com a equação 2.



Anais do
61º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2019
Outubro / 2019



@ 2019 - IBRACON - ISSN 2175-8182

$$k_v = \frac{\sigma}{\rho}$$

(Equação 2)

O método mais preciso para se considerar a deformabilidade do solo, de acordo com Scarlat (1993), seria com uma análise interativa tridimensional, com a estrutura e o solo sendo modelados como um sistema único, considerando o solo até os limites em que os efeitos de tensão possam ser praticamente nulos. Entretanto, por tamanha complexidade, acaba sendo utilizada em maioria dos casos, somente em meio acadêmico.

O coeficiente pode ser obtido através de ensaios, tabelas de valores padronizados e/ou pelo recalque vertical estimado, e tendo este último como o método utilizado para se calcular o coeficiente de reação vertical do solo (K_v) neste trabalho, porém comparando com a tabela de valores padronizados. Para os modelos analisados da ISE serão considerados modelos simplificados no lançamento das reações nas fundações. A busca por um modelo que melhor representasse o solo instigou vários autores que assim concluíram suas pesquisas afim de mostrar diferentes métodos (ANTONIAZZI, 2011).

2.3.2 Previsão de recalque em sapatas

Para se obter a previsão de recalque em sapatas, Velloso e Lopes (2011), dividiram em três grupos, os métodos mais utilizados:

- método racional;
- método semiempírico;
- método empírico.

O método racional, é utilizado levando em consideração parâmetros de deformabilidade do solo obtidos através de ensaios em laboratório ou in situ e a geometria da fundação. Já no método semiempírico, os parâmetros obtidos do solo são por meio de correlações com ensaios de penetração in situ, como por exemplo, CPT e SPT. Por último, nos métodos empíricos, são utilizadas tabelas contendo valores de tensões admissíveis tipicamente usados, a fim de limitar os recalques que surgirão na fundação.

Sendo assim, este trabalho somente irá considerar os efeitos dos recalques imediatos, determinados a partir de métodos racionais para a construção dos modelos a serem analisados, não levando em consideração os recalques por adensamento.

2.4 Dimensionamento da fundação

Conforme Cintra, Aoki e Albiero (2011) há dois modos de se determinar as tensões admissíveis em fundações diretas, primeiramente utilizando correlações com os valores do índice de resistência à penetração (N_{spt}) do SPT ou através da resistência de ponta (q_c) do CPT. Teixeira e Godoy (1996) demonstrou como se determina a tensão admissível do solo para condição particular de sapatas isoladas retangulares apoiadas em solos argilosos, em que a capacidade de carga é dada pelo método de Skempton, conforme a equação 3.

$$\sigma_{adm} = \frac{N_{SPT}}{50} + q \quad (\text{Equação 3})$$



Onde, σ_{adm} - tensão admissível do solo; q - parcela de sobrecarga que pode ou não ser considerada; NSPT - valor médio da resistência à penetração no bulbo de tensões. Então levando em consideração que tensão é a razão entre força e área, isola-se na equação a incógnita da área (A), descobrindo-se a mesma após se ter os valores da força normal de cálculo do pilar (N_d) e da tensão admissível (σ_{adm}), como mostra a equação 4.

$$\sigma_{adm} = \frac{N_d}{A} \therefore A = \frac{N_d}{\sigma_{adm}} \quad (\text{Equação 4})$$

Após determinar o valor da área da sapata, é necessário descobrir quais as dimensões em planta da mesma (B e L), sendo assim, possuindo a mesma proporção de tamanho do pilar (b e l) que arranca da sapata isolada (ARAÚJO, 2010), conforme a Figura 2 demonstra e as equações 5 e 6 representam o cálculo.

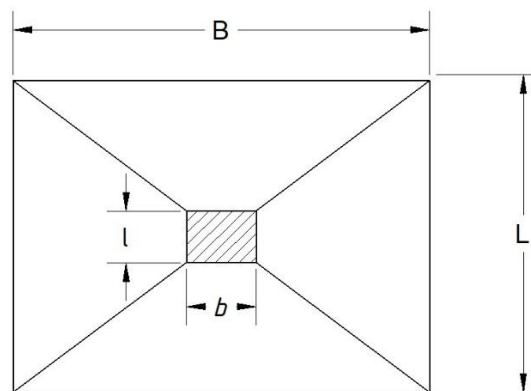


Figura 2 – Dimensões da sapata isolada

$$B = \sqrt{\frac{b}{l} \cdot A} \quad (\text{Equação 5})$$

$$L = \sqrt{\frac{l}{b} \cdot A} \quad (\text{Equação 6})$$

Onde, B - lado maior da sapata; L - lado menor da sapata; b - lado maior do pilar; l - lado menor do pilar; A - área da sapata.

A Figura 3 mostra o corte lateral de uma sapata para discretizar seus elementos dimensionais, e as equações 7 e 8 para se determinar os valores dos mesmos, conforme Araújo (2010).

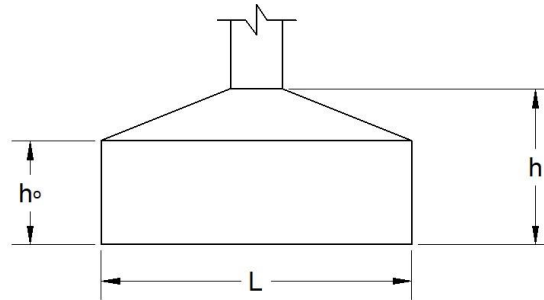


Figura 3 – Dimensões em corte de sapata isolada

$$h \geq \left(\frac{B - b}{4}\right) \text{ e } h \geq \left(\frac{L - l}{4}\right) \quad (\text{Equação 7})$$

$$h_0 \geq \begin{cases} h/3 \\ 20 \text{ cm} \end{cases} \quad (\text{Equação 8})$$

2.5 Obtenção do recalque em sapata isolada

Conforme TQS (2011) são utilizadas expressões analíticas de Mindlin (1936), vistas em Poulos e Davis (1974), que são as respostas exatas de deslocamentos (d) dentro do meio contínuo semi-infinito homogêneo para um certo carregamento, porém, é necessário se conhecer os valores do módulo de elasticidade e do coeficiente de Poisson do solo em cada camada. O módulo de elasticidade é obtido através da expressão $E = \alpha \cdot K \cdot N_{SPT}$, conforme Teixeira e Godoy (1996). O coeficiente de Poisson do solo pode ser determinado através de valores sugeridos por Teixeira e Godoy (1996).

O recalque (d) abaixo da sapata carregada uniformemente constante, é determinado pela equação 9, de Poulos e Davis (1974). A expressão foi desenvolvida para se calcular o recalque apenas no vértice da sapata, assim, para se calcular o recalque em seu centro é necessário dividi-la em quatro regiões retangulares, ou seja, utiliza-se a metade do valor dos seus lados e multiplicar por quatro para obter o recalque central da sapata.

$$d = \frac{4 \cdot p \cdot b}{E} \cdot (1 - \nu^2) \cdot \left(A - \frac{1 - 2\nu}{1 - \nu} \cdot B \right) \quad (\text{Equação 9})$$

Onde,

$$A = \frac{1}{2\pi} \left[\ln \left(\frac{\sqrt{1 + m^2 + n^2} + m^2}{\sqrt{1 + m^2 + n^2} - m^2} \right) \right] + m \cdot \ln \left(\frac{\sqrt{1 + m^2 + n^2} + 1}{\sqrt{1 + m^2 + n^2} - 1} \right) \quad (\text{Equação 10})$$



$$B = \frac{n}{2\pi} \cdot \arctg \left(\frac{m}{n \cdot \sqrt{1 + m^2 + n^2}} \right) \quad (\text{Equação 11})$$

$$m = \frac{L}{b} \quad (\text{Equação 12})$$

$$n = \frac{z}{b} \quad (\text{Equação 13})$$

Com, p - carga uniformemente distribuída; b - metade do menor lado da fundação; L - metade do lado maior da fundação; E - módulo de elasticidade; ν - coeficiente de Poisson; d - recalque calculado.

2.6 Métodos para a obtenção do coeficiente de reação vertical

Uma variável de suma importância, que se deve ser levada em consideração ao interesse em modelar uma estrutura o mais próximo da realidade, é a informação do solo no qual será construído o edifício. Com base neste conhecimento é possível realizar simulações da ISE em modelos que irão ser analisados, aplicando o uso de molas, representando a deformação do solo. Para que seja praticável o uso das molas, é importante a obtenção do coeficiente de reação vertical (K_v), que é basicamente a razão entre a pressão da superfície de contato (σ) e o recalque (ρ), como diz Winkler (1867 apud ANTONIAZZI, 2011), representado na equação 14.

$$K_v = \frac{\sigma}{\rho} \quad (\text{Equação 14})$$

Em que, K_v : módulo de reação vertical do solo; σ : tensão média aplicada na base da fundação; ρ : recalque médio da fundação.

O coeficiente de reação vertical (K_v) não é determinado somente por uma característica do solo, mas também por outros diversos fatores como a forma e dimensão das fundações, características da obra civil, carregamentos e ações. O coeficiente pode ser obtido através de ensaios, tabelas de valores padronizados e/ou pelo recalque vertical estimado, e tendo este último como o método utilizado para se calcular o coeficiente de reação vertical do solo (K_v) neste trabalho, porém comparando com a tabela de valores padronizados. Para os modelos analisados da ISE serão considerados modelos simplificados no lançamento das reações nas fundações. A busca por um modelo que melhor representasse o solo instigou vários autores que assim concluíram suas pesquisas afins de mostrar diferentes métodos.



2.7 Modelos numéricos

2.7.1 Modelo I

A estrutura será analisada no software comercial SAP 2000, sendo a estrutura discretizada por elementos finitos, o pórtico espacial será considerado elemento de barra e as lajes elementos de casca (shell), simulando o comportamento conjunto do pórtico e lajes. O pórtico será considerado engastado da sapata, sem consideração da interação solo-estrutura, ou seja, a edificação sendo considerada já construída e que é suportada por uma fundação com apoios rígidos (indeslocáveis), sendo este o sistema que é adotado na maioria dos escritórios, conforme ilustrado na Figura 4.

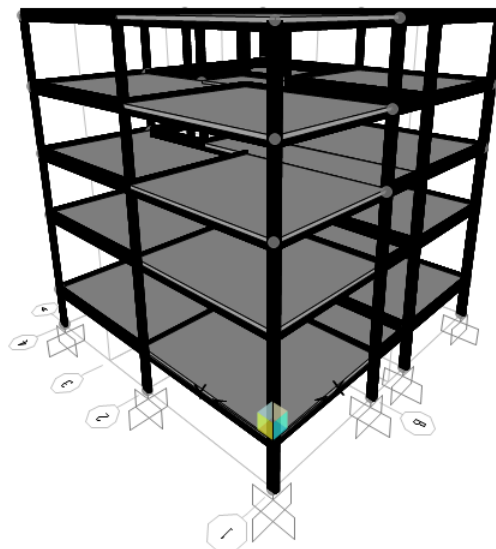


Figura 4 - Modelo Indeslocável

2.7.2 Modelo II

A estrutura também será analisada no programa comercial SAP2000, porém, neste modelo será considerado que a estrutura e os elementos de fundação são integrados como um corpo só, resultando em uma única estrutura que interage com o maciço de solo no contorno dos elementos de fundação. Neste tipo de modelagem a estrutura da fundação é discretizada, permitindo que em cada nó sejam empregadas molas para representar a deformabilidade do solo, conforme apresentado na Figura 5.

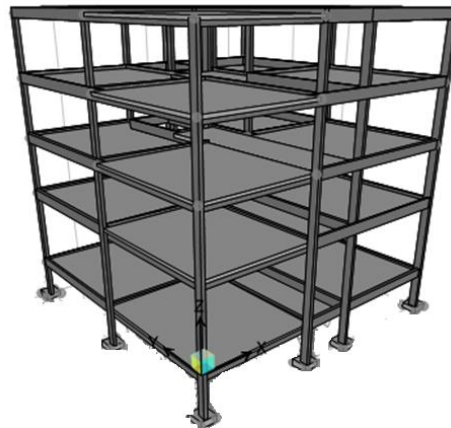


Figura 5 - Modelo ISE

3 Resultados e Discussões

3.1 Momentos Fletores

Os momentos fletores foram analisados de forma global, como pode ser visto na Figura 6. Verificou-se que houve um aumento dos momentos fletores para a estrutura. Para o momento em X, os pilares de canto tiveram um aumento de 41,35%, os de extremidade de 32,19% e os internos de 39,73% em relação ao modelo indeslocável. Já para o momento em Y os acréscimos para os pilares de canto foram de 41,2%, os de extremidade de 12,33% e os internos de 37,61% em relação ao modelo indeslocável.

Esses acréscimos de momentos confirmam o quanto a consideração da ISE é significativa nos cálculos, confirmando que a consideração da deformabilidade do solo nos projetos estruturais gera uma redistribuição nos esforços ao longo da estrutura, que pode trazer mudanças significativas ao dimensionamento estrutural.

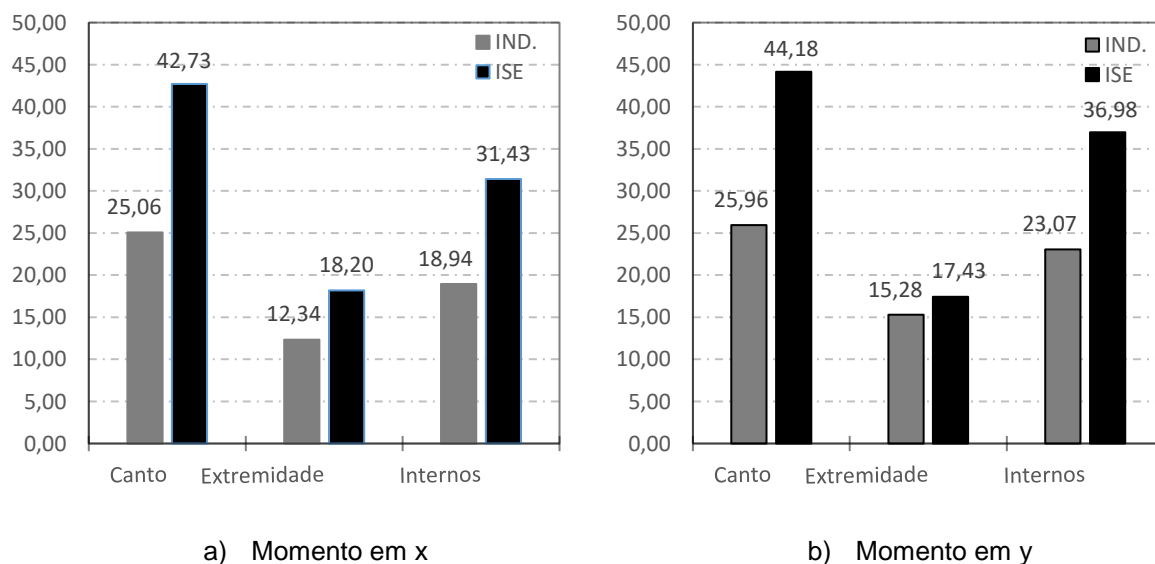


Figura 6 - Valores médios dos momentos fletores de acordo com a posição dos pilares para o modelo indeslocável e com ISE.



3.2 Deslocamentos

Com os resultados obtidos para os modelos indeslocável e com ISE foi possível compor um gráfico dos deslocamentos da direção x e y por pavimento, conforme apresentado na Figura 7. Os deslocamentos nos eixos x e y para o modelo ISE foram consideráveis ao modelo indeslocável, isso se explica pelo fato dos momentos fletores nos pilares aumentarem consideravelmente, devido as reações das molas.

O acréscimo de deslocamento em X da ISE em relação a estrutura indeslocável para o primeiro pavimento foi de 40,11% e no último com 30,99% verificando uma diminuição dos deslocamentos ao longo dos pavimentos à medida que cresce a altura da edificação. Isto pode ser verificado para os deslocamentos em Y, essa característica pode ser atribuída aos efeitos do processo construtivo que são suavizados pela interação.

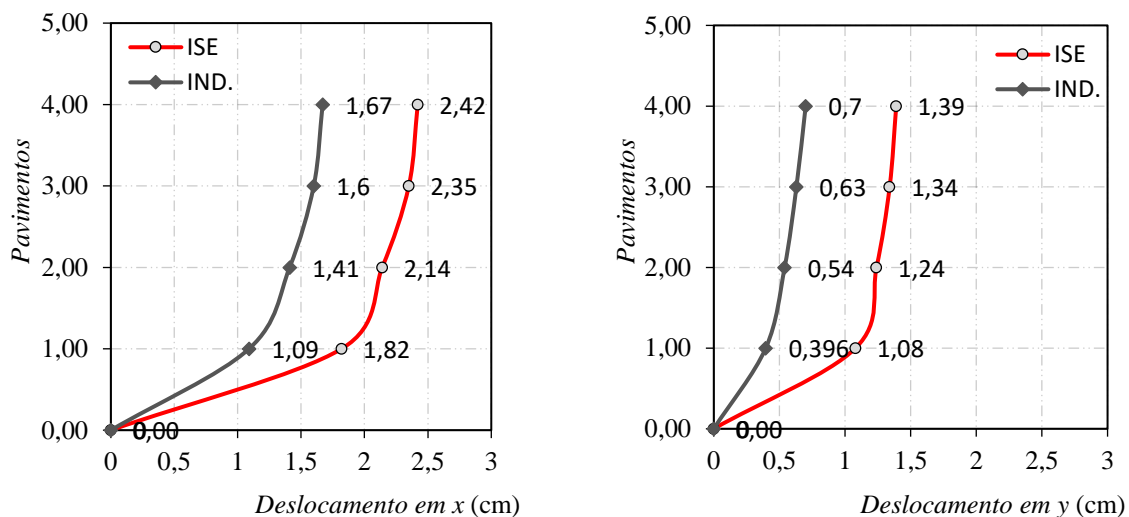


Figura 7 - Comparação dos deslocamentos por pavimento na direção x e y.

3.3 Estabilidade Global

A verificação da estabilidade global pelo parâmetro do gama-z é apresentada na Figura 8. Na busca de assimilar os efeitos da ISE a estabilidade global da estrutura, notou-se que para o modelo ISE os valores de gama-z foram superiores ao modelo indeslocável.

O aumento para o eixo X chegou a 16,87% e no eixo Y a 14,61%. Essa diferença ocorre devido à consideração da deformabilidade do solo gerar uma redistribuição dos esforços na estrutura aumentando os momentos de 2ª ordem.

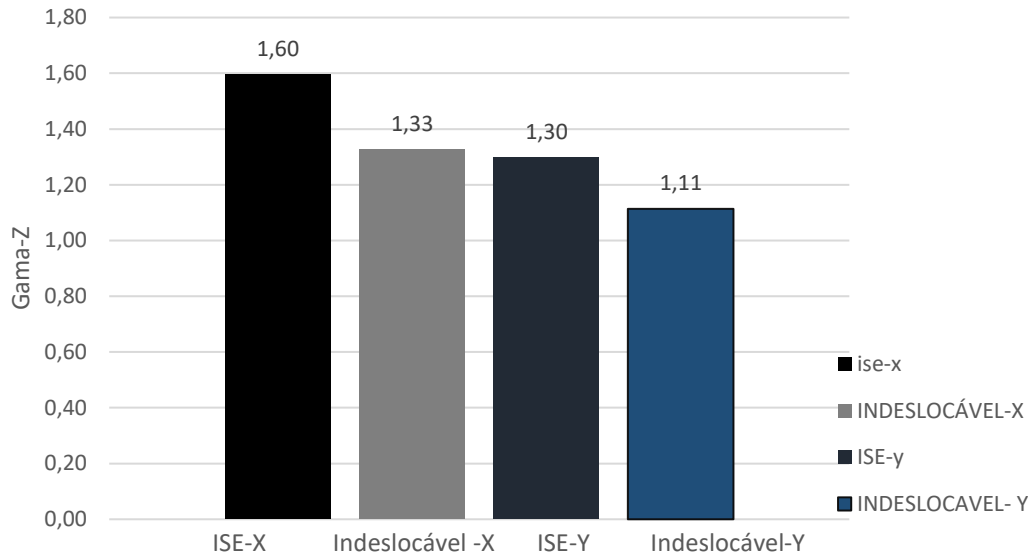


Figura 8 - Variação do gama-z

4 Conclusões

As análises relatadas neste trabalho, contribuíram para verificar a importância da influência da ISE no dimensionamento estrutural de edificações de concreto armado sob fundações superficiais. Com os modelos propostos foi possível identificar diferentes análises na edificação.

A princípio, buscou-se comparar os esforços normais de maneira global nos pilares da estrutura, verificou-se que, a diferença foi pouco significativa, o que minimiza o risco de ruptura do pilar por esmagamento do concreto quando não se considera a ISE. Entretanto, para os momentos fletores, os deslocamentos horizontais e o gama-z, a diferença entre os modelos foi considerável, devido ao fato do modelo engastado levar em consideração o solo como um apoio indeslocável, originando uma estrutura mais rígida que por sua vez resultará em valores menores.

Mesmo admitindo uma análise simplificada para a consideração da interação, foi possível observar que os valores obtidos foram mais próximos do que ocorre nas estruturas reais. O ideal seria repetir o processo de dimensionamento das fundações e fornecer novos valores de molas até que houvesse uma convergência dos resultados.

Vale ressaltar que há outros modelos para verificar as influências da interação como método iterativo tridimensional, o qual o solo é considerado até o limite em que os efeitos de tensão possam ser desprezados, métodos para calcular o recalque como Streibenner e Mindlin na qual torna possível a verificação do grupo de estaca, estes ficam de sugestão para futuros trabalhos pois há muito a ser desenvolvido a respeito da interação solo-estrutura.



Anais do
61º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2019
Outubro / 2019



@ 2019 - IBRACON - ISSN 2175-8182

5 Referências

ANTONIAZZI, Juliana Pizzi. Interação solo-estrutura em edifícios com fundações superficiais. 2011. 139f. **Dissertação** (Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Santa Maria, 2011.

ARAUJO, José Milton de. **Curso de Concreto Armado**. 3. ed. Rio Grande: Dunas, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-6118: Projeto de Estrutura de Concreto-Procedimento**. 2014. 256f. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. 1980. 6f. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-6122: Projeto e Execução de Fundações**- 2010. 91f. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-6123: Forças devidas ao vento em edificações**. 2013. 66f. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

CINTRA, J. C. A, AOKI N., ALBIERO, J. H. **Fundações diretas: projeto geotécnico**. São Paulo: Oficina de textos, 2011.

MAROSINI, Gustavo Marques; NAVIA, João Paulo Bianco; CUNHA, José Mário Batista. Aplicação da interação solo-estrutura na análise de um edifício com fundações profundas – estudo de caso. 2014. 59p. **Dissertação** (Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Engenharia de Produção Civil). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

MINDLIN, R. D. (1936). **Force at a point in the interior of a semi - infinite solid**. Physics, 7, p. 195-202.

POULOS, H.G.; DAVIS, E.H. (1974). **Elastic solutions for soil and rock mass**. New York, John Wiley & Sons 535p.

SCARLAT, A. S. **Effect of Soil Deformability on Rigidity – Related Aspects of Multistory Buildings Analysis**. ACI Structural Journal, v.90, n.02, 1993.

TEIXEIRA, A. H.; GODOY, N.S. (1996). **Análise, projeto e execução de fundações rasas. Fundações: teoria e prática**, Hachich et al. (editores), Ed. Pini, São Paulo, Cap 7, p. 227-264.

TQS. **SISEs - Sistema de Interação Solo - Estrutura**. São Paulo: TQS Informática Ltda, 2011. 160p [Manual Teórico].



Anais do
61º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2019
Outubro / 2019



@ 2019 - IBRAÇON - ISSN 2175-8182

VELLOSO, Dirceu de Alencar; LOPES, Francisco de Resende. **Fundações, volume 1: critérios de projeto – investigações do solo – fundações superficiais.** São Paulo: Oficina de Textos, 2ª ed, 2011.

WINKLER, Emil. **Die lehre von der Elastizität und Festigkeit.** Domicus, Praga, 1867.