

STUDY OF THE INTERACTION OF CONCRETE WALLS WITH THE FOUNDATION STRUCTURE

Lucas Barbosa Moraes

Thiago Bomjardim Porto

lucasbarbosa_eng@outlook.com

thiago.porto@cefetmg.br

Department of Civil Engineering and Environment- CEFET MG

Raymundo Mattoso Street, 900, CEP 35790-000, Minas Gerais/Curvelo, Brazil

Thiago Pena Bortone

Antônio Ribeiro de Oliveira Neto

thiago.bortone@cefetmg.br

antonioribeiro@cefetmg.br

Department of Civil Engineering and Environment- CEFET MG

Raymundo Mattoso Street, 900, CEP 35790-000, Minas Gerais/Curvelo, Brazil

Abstract. This paper presents a study of the factors that influence the mechanism of soil-structure interaction in a pilot building in concrete walls and their impact on their performance. Initially, a research was made on the concrete walls structural system, following a brief bibliographical review on the fundamental concepts for the study of the soil-structure interaction (SSI), such as: constitutive soil models, discrete models for soil representation, soil properties, stress analysis and allowable stress, among others. To illustrate the studies carried out, a numerical modeling of a four-floor concrete wall pilot building was performed, subjected to vertical actions, supported by slab foundation, using the Finite Element Method (FEM), using specific 3D software for analysis and structural dimensioning in reinforced concrete. For the consideration of the geotechnical and structural system (foundation structure), the discrete spring model (Winkler model) coupled to the superstructure was used and the slab foundation thickness was varied by 16 cm (model 1), 25 cm (model 2) and 40 cm (model 3). The local geotechnical formation was represented by a soft clay (SPT = 5) from the Belo Horizonte Metropolitan Region, Brazil. The influential factors of the SSI analyzed in this research were: relative rigidity ground structure, uniformity of the requesting stresses, repression in the building and reinforcement rates found. For a better visualization of the influence of these various factors, an analysis was made of the distribution of normal stresses and stresses at the base of the walls of this building, in the form of graphs. Finally, it was concluded that the change in Slab Foundation, stiffness influences the distribution of stresses and stresses in the foundation, with a tendency to uniformity as the slab foundation thickness increases. However, this relationship is not linear.

Keywords: Structural Analysis, Concrete Walls, Numerical Modeling, Soil Structure Interaction, Foundations.

1 Introdução

Nos últimos anos, a busca por alternativas para garantir soluções de engenharia mais racionais e sustentáveis tem crescido bastante. Na época em que foi publicada a primeira norma brasileira sobre dimensionamento e execução de estruturas de concreto armado, a NB-1 [1], todos os estudos eram feitos de maneira analítica (manual) e simplificada, do contrário não haveria tempo hábil para a elaboração dos projetos estruturais e de fundações. Haja visto que o Brasil passava por diversas fases de sucessivos crescimentos da economia, o chamado “milagre econômico”, com destaque a construção da nova capital nacional, Brasília e construção do metrô do Rio de Janeiro e São Paulo. Esses cálculos, na maioria das vezes presumiam que a estrutura em análise se comportava de maneira linear (fisicamente e geometricamente), o que trazia consigo, infelizmente, um superdimensionamento estrutural. Com o passar dos anos, com o avanço da informática, e naturalmente dos modelos numéricos que representam a superestrutura e a infraestrutura de um empreendimento civil tornou-se possível análises mais rigorosas, e, algumas vezes mais econômicas, possibilitando ao empreendedor da construção civil conceber estruturas mais fidedignas com a realidade.

Neste contexto, um dos maiores desafios para os engenheiros gestores de projeto era unificar as análises geotécnicas e estruturais de uma edificação-estudo, uma vez que desde a década de 40, os especialistas trabalhavam de forma independente (autônoma), desconsiderando, portanto, a interação entre as interfaces das disciplinas. O calculista considerava os apoios da edificação rígidos, portanto, indeslocáveis e o geotécnico considerava uma carga característica constante na fundação por pilar, logo, sem uma abordagem conjunta de rigidez, desta forma, desprezando a solidarização dos recalques do edifício e naturalmente uma redistribuição das ações do prédio.

No âmbito da análise numérica conjunta (equivalente) do sistema estrutural e geotécnico na elaboração de projetos de engenharia, as versões atuais da NBR 6122 [2] e NBR 6118 [3] preveem a consideração da interação solo-estrutura (ISE) na concepção de projetos. A aplicação da ISE, embora nova no projeto de edifícios (superestrutura e fundação) já era bastante utilizada nas décadas de 70 e 80 no dimensionamento de obras de arte especiais e estruturas civis sujeitas a ações dinâmicas, como demonstra Porto, Mendonça e Carvalho [4].

Este artigo pretende contribuir no auxílio do entendimento da ISE em edifício de paredes de concreto apoiado em fundações superficiais do tipo radier sobre solos de baixa capacidade suporte, demonstrando a importância dessa consideração no desenvolvimento de projetos estruturais e de fundações racionais e seguros.

2 Sistema estrutural paredes de concreto

Dentre os principais sistemas construtivos racionalizados utilizados no Brasil destacam-se: alvenaria estrutural, concreto armado, steel frame, wood frame e paredes de concreto. As décadas de 80 e 90 foram marcadas pela utilização da alvenaria estrutural como alternativa para suprir o déficit habitacional existente no país, principalmente de famílias que recebiam até 3 salários mínimos mensais, Porto [5]. Eram edifícios de 4 (quatro) pavimentos, usualmente, sem garagem coberta, financiadas por programas do governo através da Caixa Econômica Federal (CAIXA). Na época, a construção de edifícios sem a necessidade de pilares e vigas (estrutura auto-portante) se tornou uma excelente alternativa para construções populares em escala (grande quantidade).

Com a criação do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) pelo governo federal já nos anos 2000, inspirado em experiências bem sucedidas em países da América Latina como Chile, Colômbia e México, Carvalho [6], houve um ambiente propício para a implantação de um novo sistema construtivo no país, chamado de “Paredes de Concreto”. Conceitualmente, pilares de concreto armado, são elementos preponderantemente sujeitos a ações de compressão que possuem o maior lado (h) inferior a 5 (cinco) vezes o menor (b), Assis e Porto [7]. Quando essa condição não é atendida, o pilar deixa de ser um elemento de barra e passa a ser tratado como um elemento de casca ou placa, sujeito a flexão fora de seu plano, Fernandes e Porto [8]. Até 2012 não existia no Brasil uma norma que tratava especificamente sobre pilares-parede. Em função dessa ausência, impulsionada principalmente pelo

crescimento econômico nacional, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) criou a NBR 16055 [9] para estabelecer os requisitos básicos para o desenvolvimento de projetos em paredes de concreto moldadas in loco para a construção de edificações. Esta norma fixa os procedimentos necessários para concepção, análise estrutural, dimensionamento e detalhamento de paredes de concreto. No que tange a ISE nas análises de edificações em paredes de concreto a partir de 5 (cinco) pavimentos, a NBR 16055 exige que seja incorporado essa consideração. Quanto ao detalhamento, as armações são feitas por telas e reforços (regiões de concentrações de tensão) são utilizados em locais de aberturas, como portas e janelas. Para edifícios de até 6 pavimentos, as paredes usualmente possuem 10 cm com armação em tela no centro geométrico da parede. Para edifícios altos, cuja ação do vento é significativa, as paredes possuem 15 cm e armação em tela dupla, Farias [10].

Assim como em projetos estruturais em alvenaria estrutural, a descida de cargas verticais em edifícios de paredes de concreto é feita nos escritórios de cálculo utilizando o critério de grupo de paredes isoladas, Testone [11]. Embora o pioneirismo da aplicação do sistema construtivo paredes de concreto seja mérito das obras populares aplicado a edifícios de até 6 pavimentos, a cada dia, cresce a utilização dessa tecnologia em edifícios altos como público alvo as famílias de classe média, Figura 1.



Figura 1. Edifício de paredes de concreto moldadas no local. Testoni e Correa [12]

Academicamente, os estudos numéricos relacionados ao sistema estrutural paredes de concreto são feitos considerando as paredes como elementos de casca, e a modelagem é corriqueiramente feita utilizando-se o Método dos Elementos Finitos (MEF). Em função da morosidade para operacionalizar tal verificação no dia-a-dia dos projetistas estruturais, essas análises são corriqueiramente feitas utilizando-se o Método dos Pórticos Tridimensionais (MPT), onde este transforma o elemento plano (parede) em um elemento de barra com inércia equivalente, Figura 2, simplificando e agilizando os procedimentos de cálculo. A fim de elucidar eventuais questionamentos quanto ao procedimento exposto, Braguim e Bittencourt [13] apresentam um estudo de caso, onde, por meio da comparação da máxima tensão normal de compressão, um modelo numérico em MEF e outro em MPT foi feito para um edifício de 15 pavimentos em paredes de concreto. Os resultados demonstram diferenças inferiores

a 5% nos valores de tensão normal nas paredes, validando assim, o modelo simplificado em questão.

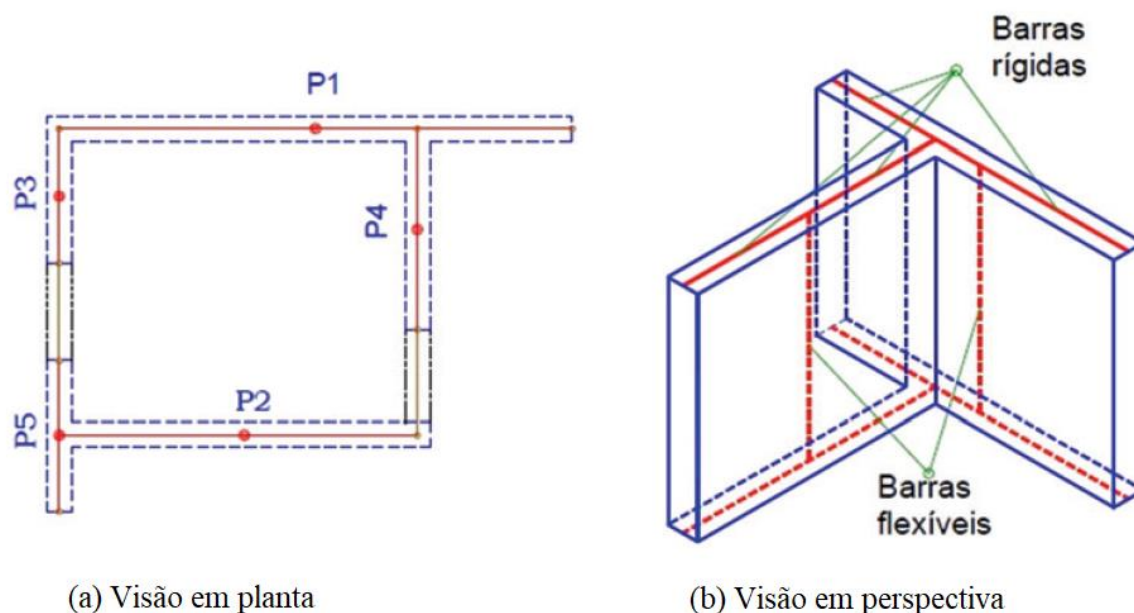


Figura 2. Representação gráfica do Método dos Pórticos Tridimensionais. Braguim e Bittencourt [13]

3 Interação Solo-Estrutura (ISE)

A consideração da superestrutura de edifícios apoiada em apoios fixos, portanto, indeslocáveis já não é mais aceitável no meio acadêmico e profissional. Hoje em dia, a maioria dos softwares comerciais e técnico-científicos possuem em seu pacote um módulo de Interação Solo-Estrutura (ISE), facilitando assim a concepção de estruturas mais coerentes com a realidade. O nível de precisão da análise, no entanto, depende da experiência do usuário e dos modelos disponíveis para o estudo. Como será visto nos tópicos posteriores, modelos triviais representam o solo como um conjunto de molas linearmente espaçadas, respeitando a lei de hooke, portanto, regime elástico linear, Figura 3. Outros modelos, supõem o terreno como molas não lineares, que, dependendo do nível de tensão, podem trabalhar com a suposição do maciço geotécnico ser elástico ou plástico. Modelos mais elaborados, consideram o solo como um meio contínuo estratificado, heterôgeneo e anisotrópico, representando assim, com maior nível de detalhes o comportamento do maciço, Figura 4.

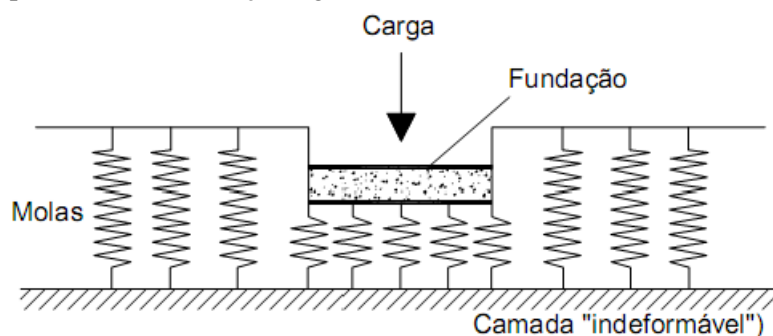


Figura 3. Hipótese de Winkler: Deformabilidade do solo através de molas discretas. Antoniazzi [14]

Mesmo havendo uma evolução nos recursos computacionais, a modelagem do maciço geotécnico continua sendo um desafio para os profissionais da área, uma vez que o solo, muitas vezes é constituído por materiais de naturezas distintas (matéria orgânica, aterro, argila, silte, areia, matacão) com resistência distintas, por exemplo, com decréscimo de capacidade de carga com a profundidade, ao passo, que espera-se que a resistência do terreno aumente com a profundidade. Assim, a melhor forma

de caracterizar o solo adequadamente é com a utilização de uma prova de carga, Figura 5. No Brasil a regulamentação deste ensaio é feita pela ABNT NBR 6489 [17]. Esta Norma fixa as condições gerais a serem satisfeitas nas provas de carga sobre terreno, para fins de fundações por sapatas rasas.

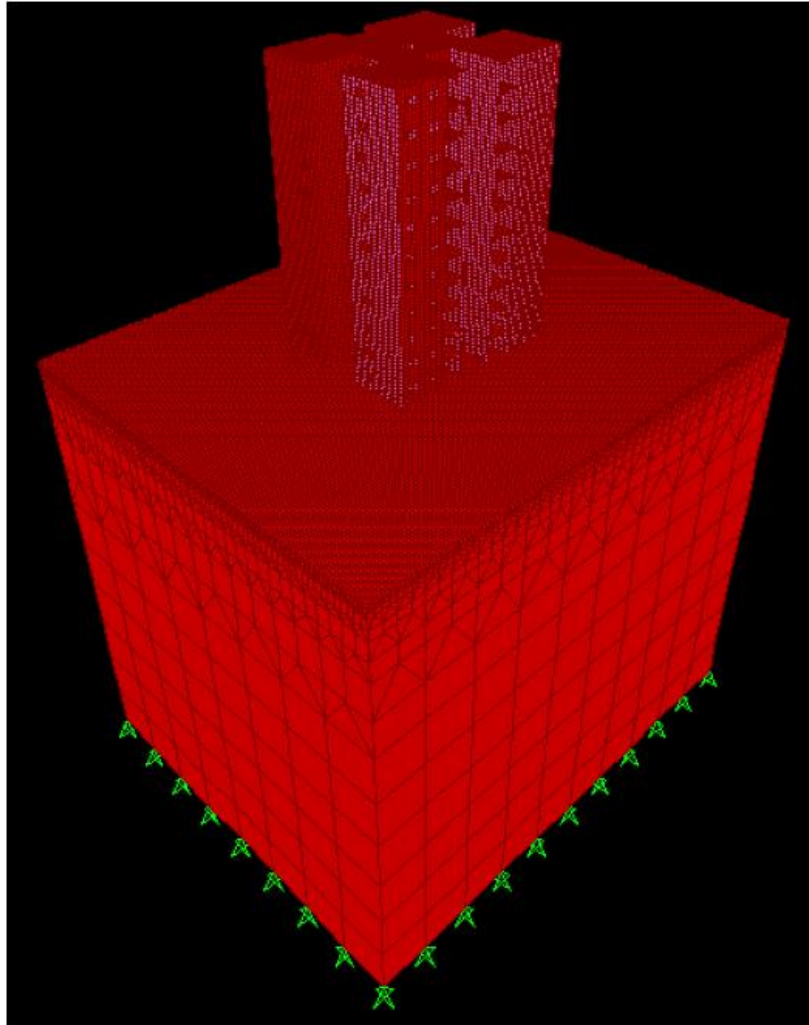


Figura 4. Modelagem do Sistema Geotécnico como meio contínuo. Porto e Silva [15]

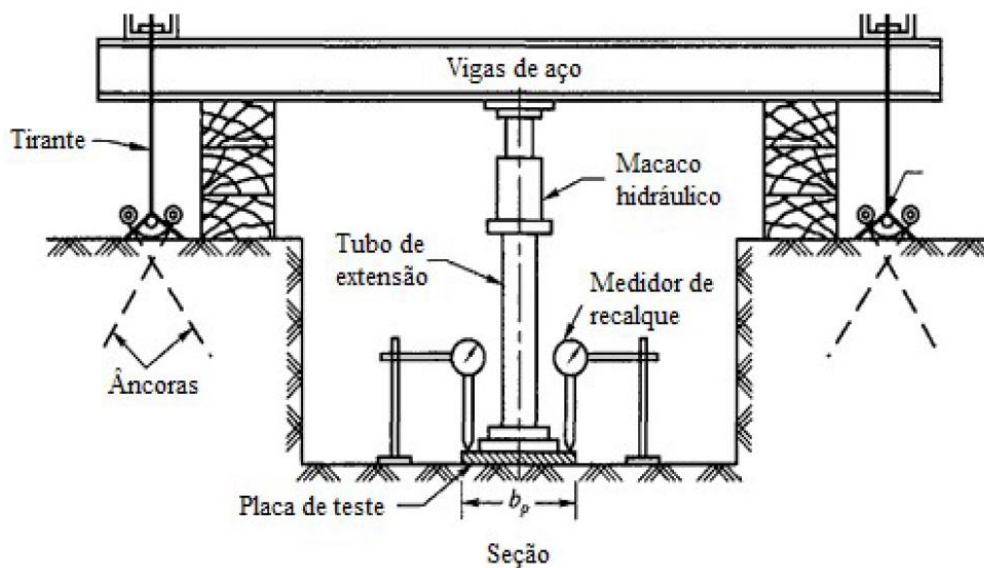


Figura 5. Desenho esquemático do ensaio de placa para fundações. Ribeiro [16]

3.1 Modelos teóricos para consideração da ISE

Segundo Siqueira [18], dentre os modelos clássicos para se considerar a ISE nos projetos geotécnicos, os mais utilizados atualmente (corriqueiramente) são aqueles em que a deformabilidade do solo pode ser representada por meio de molas elásticas ou não na interface estrutura-solo, onde se consideram as propriedades do maciço (coeficiente de poisson, módulo de elasticidade longitudinal e transversal,) e a compatibilização dos recalques. Destacam-se:

Modelo de Winkler: A teoria de Winkler, proposta inicialmente em 1867, pelo Engenheiro alemão Emil Winkler assume que o solo pode ser representado por molas linearmente espaçadas que respeitam a lei de hooke, portanto, regime elástico linear, Figura 6.

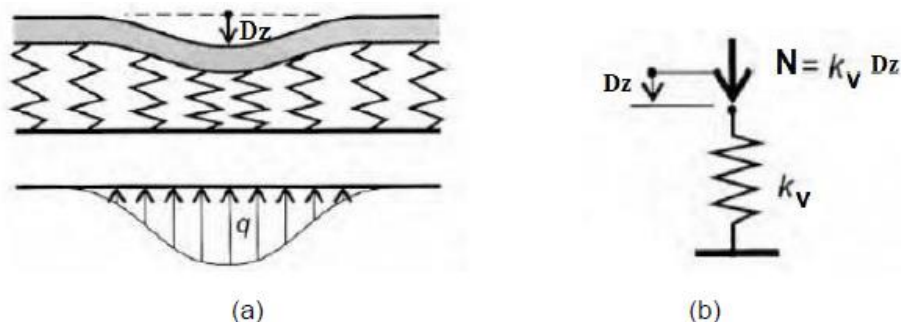


Figura 6. Representação esquemática do modelo de Winkler. Velloso e Lopes [19]

Neste modelo as pressões de contato são proporcionais aos recalques. Matematicamente, tem-se:

$$N = K_v \cdot D_z. \quad (1)$$

Sendo:

N = Força Solicitante;

K_v = Constante de proporcionalidade, coeficiente de reação vertical ou coeficiente de mola;

D_z = deslocamento vertical (recalque).

Modelo de Filonenko-Borodich: Este modelo assume que o solo pode ser representado por molas interligadas entre si. Essa interação é feita por uma membrana elástica fina sujeita a uma força de tração constante (T), fixada no topo das molas de Winkler, Figura 7.

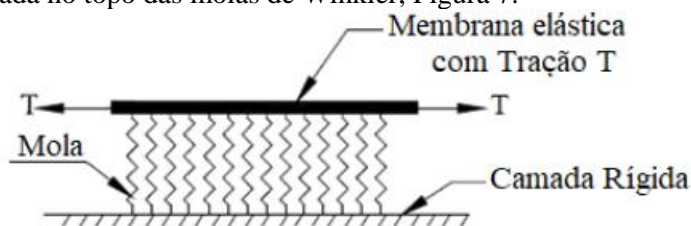


Figura 7. Representação esquemática do modelo Filonenko-Borodich. Singh e Jha [20]

Modelo de Hetenyi: Neste modelo a interação entre as molas é feita por uma viga faixa, que se deforma apenas por flexão, conectada na parte superior das molas de Winkler, Figura 8.

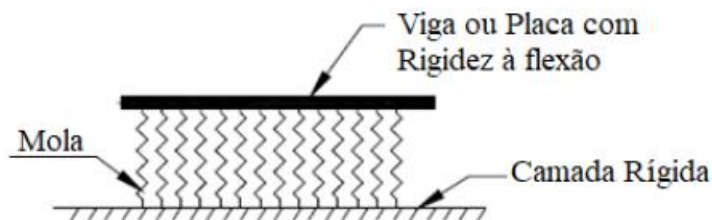


Figura 8. Representação esquemática do modelo de Hetenyi. Singh e Jha [20]

Modelo de Pasternak: No modelo de Pasternak a interação entre as molas é feita por uma placa espessa, que se deforma apenas por cisalhamento, conectada na parte superior das molas de Winkler, Figura 9.

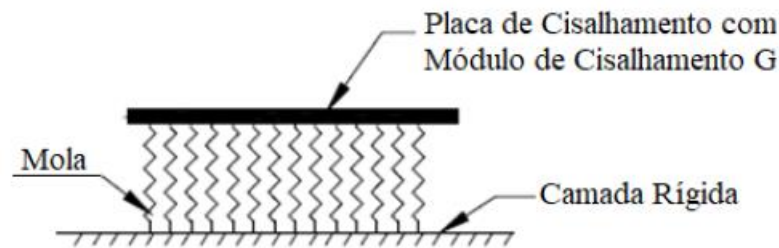


Figura 9. Representação esquemática do modelo de Pasternak. Singh e Jha [20]

Modelo de Kerr: Na proposição de Kerr o maciço geotécnico é constituído por duas camadas de molas conectadas por uma placa espessa. Os coeficientes de reação vertical, K_1 e K_2 , são assumidos como sendo de rigidez diferente, permitindo ao modelo efetuar uma distribuição de pressões correta de acordo com a heterogeneidade e anisotropia do terreno, Figura 10.

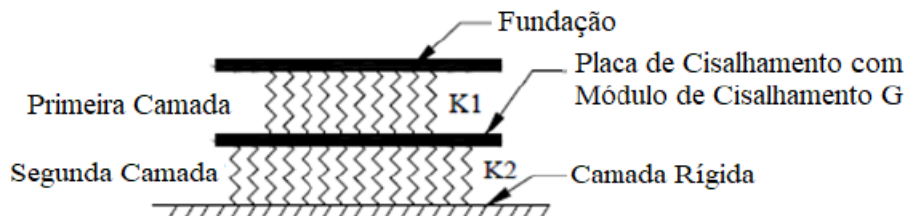


Figura 10. Representação esquemática do modelo de Kerr. Singh e Jha [20]

Modelo de Malha de Molas: Este modelo também é conhecido como Novo Modelo Contínuo de Winkler. Nele, existem molas verticais e horizontais interconectadas, formando assim uma malha de molas contínuas, Figura 11.

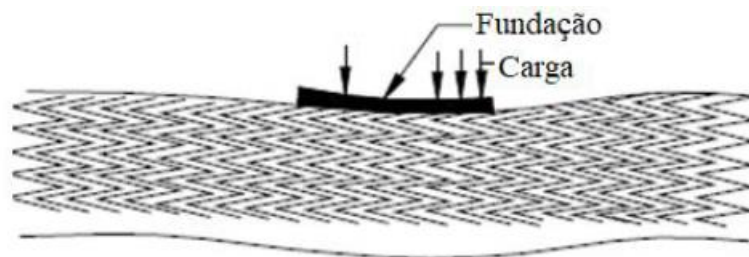


Figura 11. Representação esquemática do modelo de Malha de Molas. Singh e Jha [20]

Modelo de Horvath: Este modelo considera o efeito do cisalhamento (esforço cortante) do subsolo na resposta da Interação Solo Estrutura. A parte superior (superestrutura) do modelo é constituída de um elemento de flexão convencional, Figura 12. O subsolo utiliza a hipótese de Pasternak.

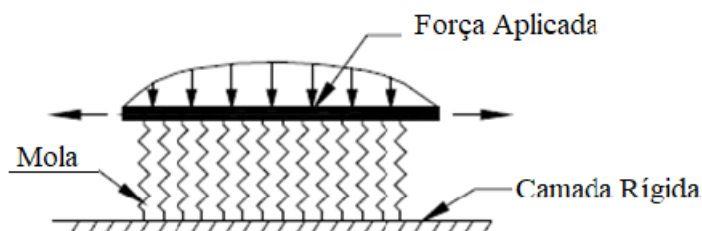


Figura 12. Representação esquemática do modelo de Horvath. Singh e Jha [20]

4 Estudo de caso

O edifício piloto deste trabalho possui 4 pavimentos com área projetada de 208,86 m², Figura 13. Trata-se de uma construção cujas características arquitetônicas se enquadram no padrão “*Minha Casa minha Vida*” do Governo Federal. As paredes e lajes possuem 10 (dez) cm de espessura e o pavimento cobertura é isolado (sem acesso ao público), com telhado cerâmico cobrindo todos os apartamentos. A garagem é externa ao edifício e a tipologia do térreo (pilotis) é análoga ao pavimento tipo, salvo um apartamento adaptado para pessoas portadoras de necessidades especiais (PNE). Cada bloco possui dois módulos iguais, separados por uma junta de dilatação. Para este artigo, será estudado um único módulo, sendo seus resultados assumidos como constantes e representativos para o bloco, Figura 14.



Figura 13. Edifício piloto em paredes de concreto.

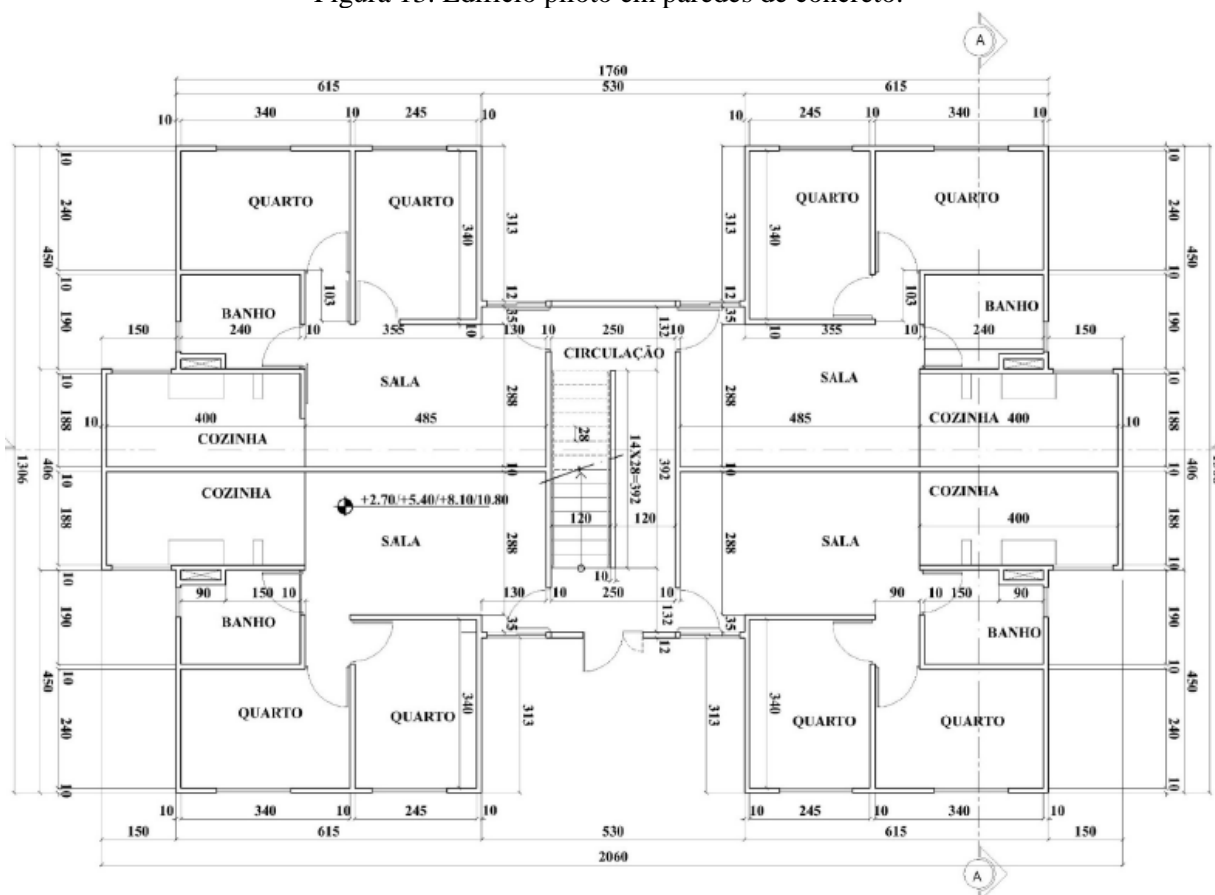


Figura 14. Planta baixa do edifício piloto (pavimento tipo).

4.1 Dados da superestrutura do edifício

O edifício piloto foi considerado com resistência a compressão característica $f_{ck} = 25\text{MPa}$, com classe de agressividade ambiental (CAA) igual a II (NBR 6118/2014), coeficiente de Poisson $\nu = 0,20$, módulo de Elasticidade $E_c = 23.800\text{ MPa}$ e peso Específico $\gamma_c = 25\text{ kN/m}^3$. Foram utilizados os aços CA-50 e CA-60, com respectivos módulos (tensões características) de escoamento f_y iguais a 500 MPa e 600 MPa.

4.2 Dados da fundação e parâmetros do Solo adotados

A fundação assumida para pesquisa foi rasa, do tipo radier, com 120 cm de distância das faces externas ao edifício, Figura 15. Considerou-se um terreno com baixa capacidade suporte (SPT=5) com características argilosas (não saturada) em toda a projeção da edificação. O coeficiente de reação vertical adotado, K_v foi de 22.000kN/m^3 .

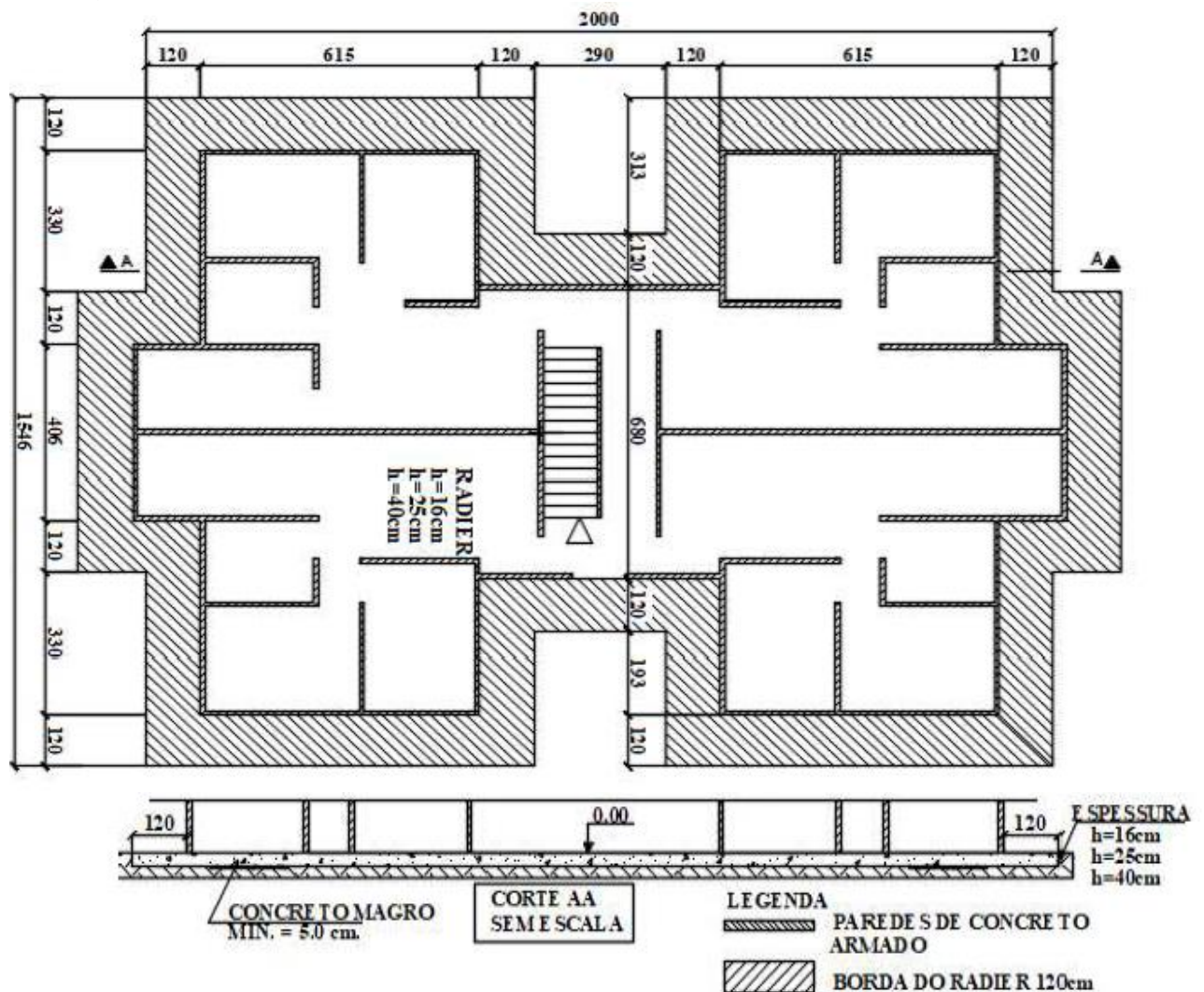


Figura 15. Forma do radier do edifício piloto.

4.3 Modelagem Numérica em MEF

Com o objetivo de avaliar a influência da rigidez da fundação na distribuição dos esforços verticais no radier, bem como sua deformabilidade, considerou-se 3 (três) modelos, com variações crescentes da espessura do radier. As análises foram feitas com as seguintes espessuras: modelo 1 (16 cm); modelo 2 (25 cm) e modelo 3 (40 cm). A descida de cargas verticais foi feita utilizando o critério do grupo de

paredes isoladas, considerando as aberturas (portas e janelas) como elementos delimitadores dos grupos, Figura 16. A fundação em radier foi modelada com elementos de casca (20x20) cm², onde cada elemento possui 4 (quatro) nós, sendo cada nó tendo 6 (seis) graus de liberdade, 3 (três) de translação e 3 (três) de rotação. O maciço geotécnico foi considerado como um conjunto de molas linearmente espaçadas respeitando a Lei de Hooke, portanto, regime elástico linear. Tal hipótese foi assumido válida para esta pesquisa, uma vez que o nível de tensão solicitante na fundação é significativamente inferior a capacidade de carga do solo (nível de tensão resistente). Além do mais, o carregamento atuante é majoritariamente (70%) estático, o que facilita a previsibilidade de seu comportamento.

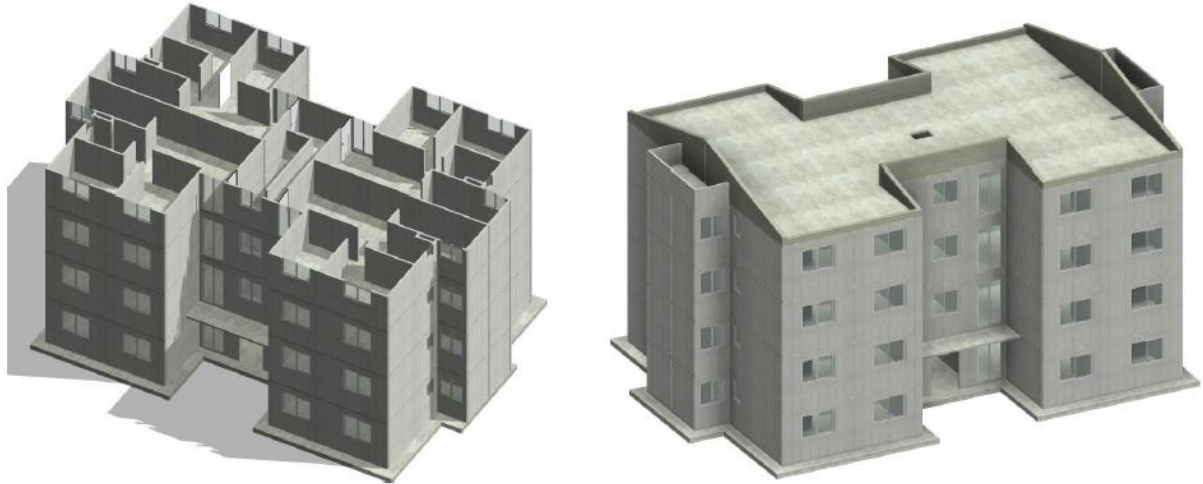


Figura 16. Modelagem do edifício piloto: (a) sem a laje de cobertura, (b) com a laje de cobertura.

A descida de cargas verticais foi feita através do critério do grupo de paredes isoladas, onde as aberturas, portas e janelas, foram considerados como elementos delimitadores dos grupos. Na Figura 17 é apresentado o mapa de cargas sobre a estrutura de fundações.

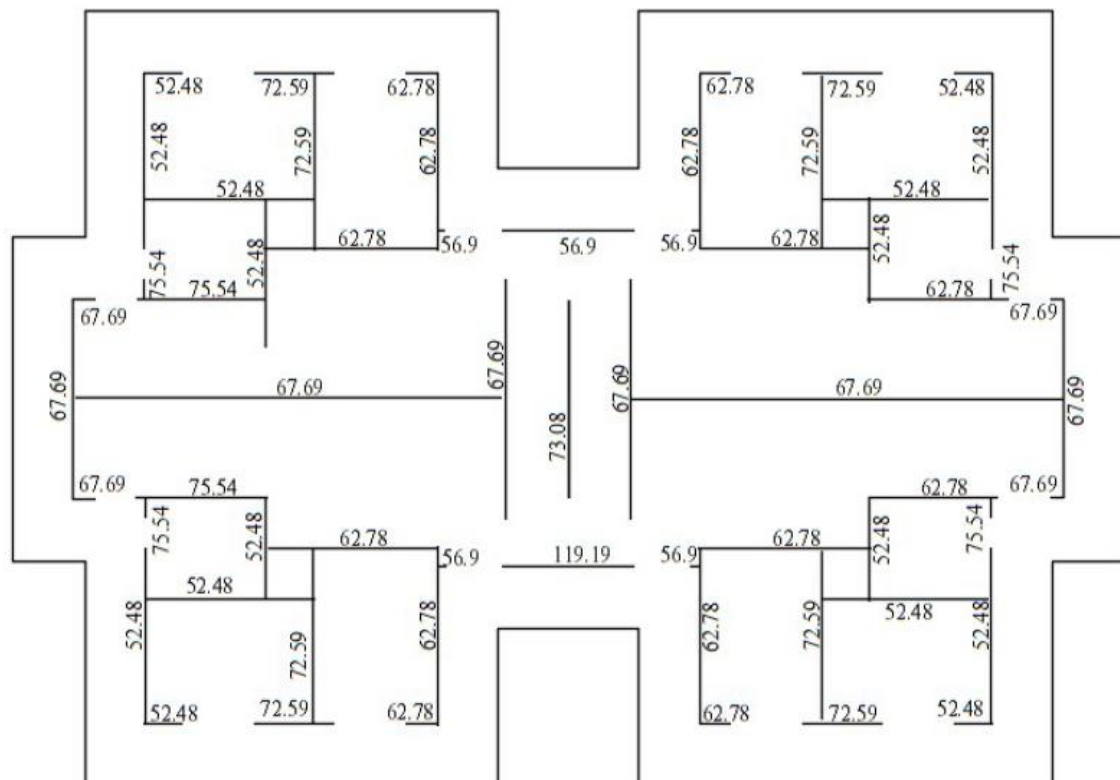


Figura 17. Cargas lineares atuantes na fundação (kN/m).

5 Resultados e análises

Com o intuito de parametrizar a análise desta pesquisa, as variáveis estudadas foram: tensão solicitante na fundação, recalque no radier e taxa de armadura. As Figuras 18, 20 e 22 apresentam os resultados das tensões no solo considerando as espessuras do radier de 16 cm, 25 cm e 40 cm respectivamente. As Figuras 19, 21 e 23 apresentam os resultados dos recalques na fundação considerando as espessuras do radier de 16 cm, 25 cm e 40 cm respectivamente.

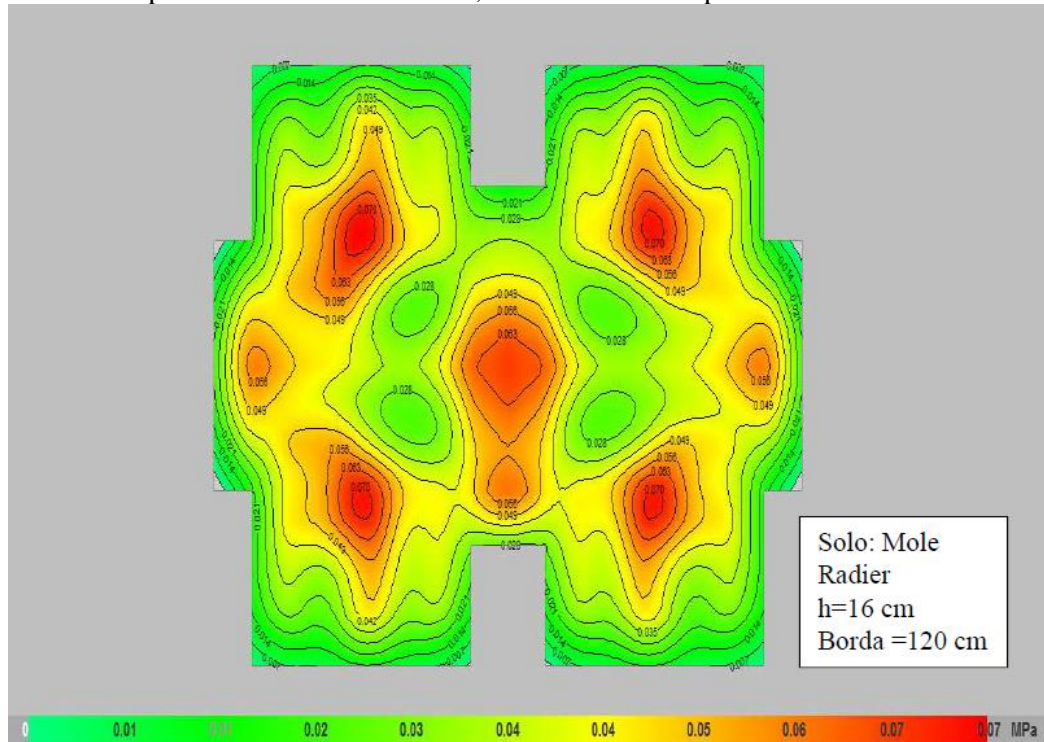


Figura 18. Tensões resultantes na fundação – modelo 1 (MPa).

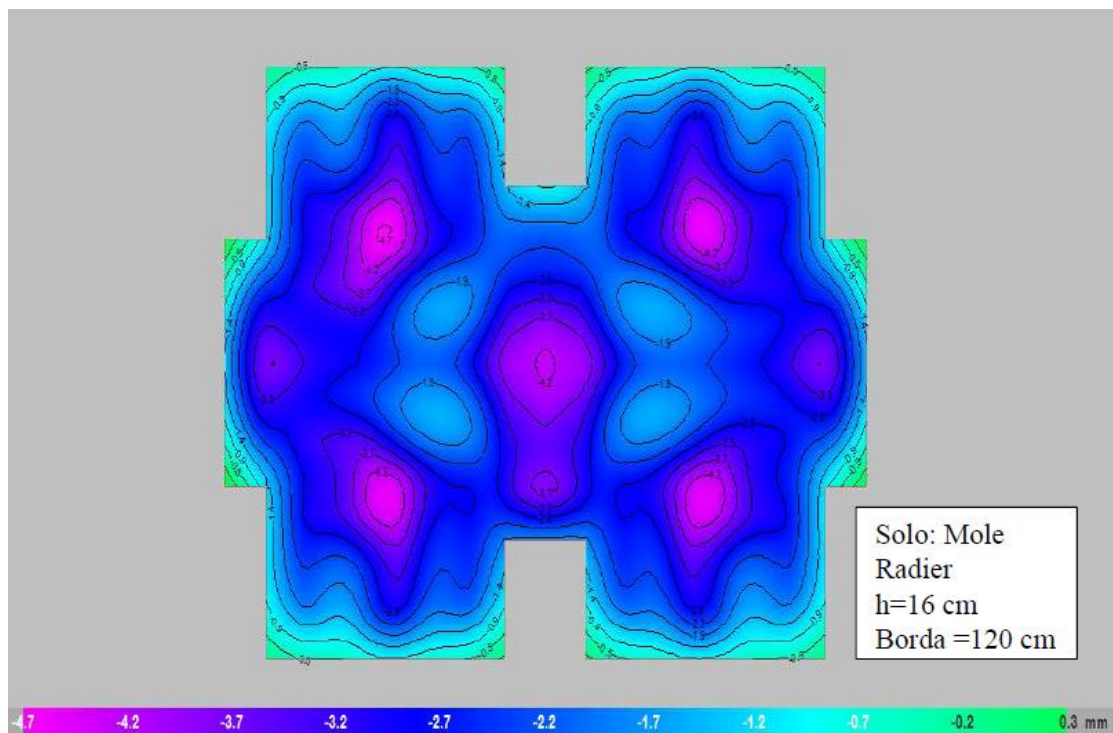


Figura 19. Recalque na fundação – modelo 1 (deslocamento em mm).

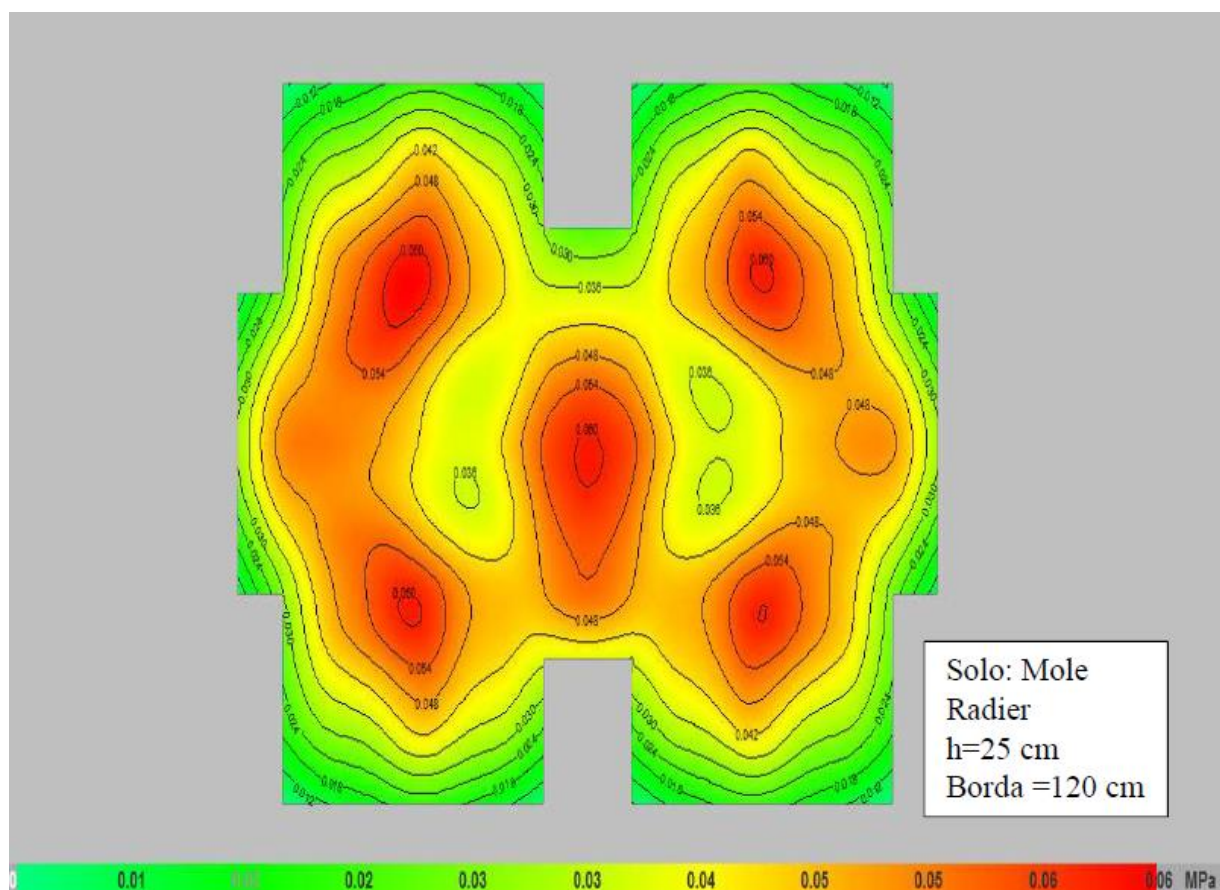


Figura 20. Tensões resultantes na fundação – modelo 2 (MPa).

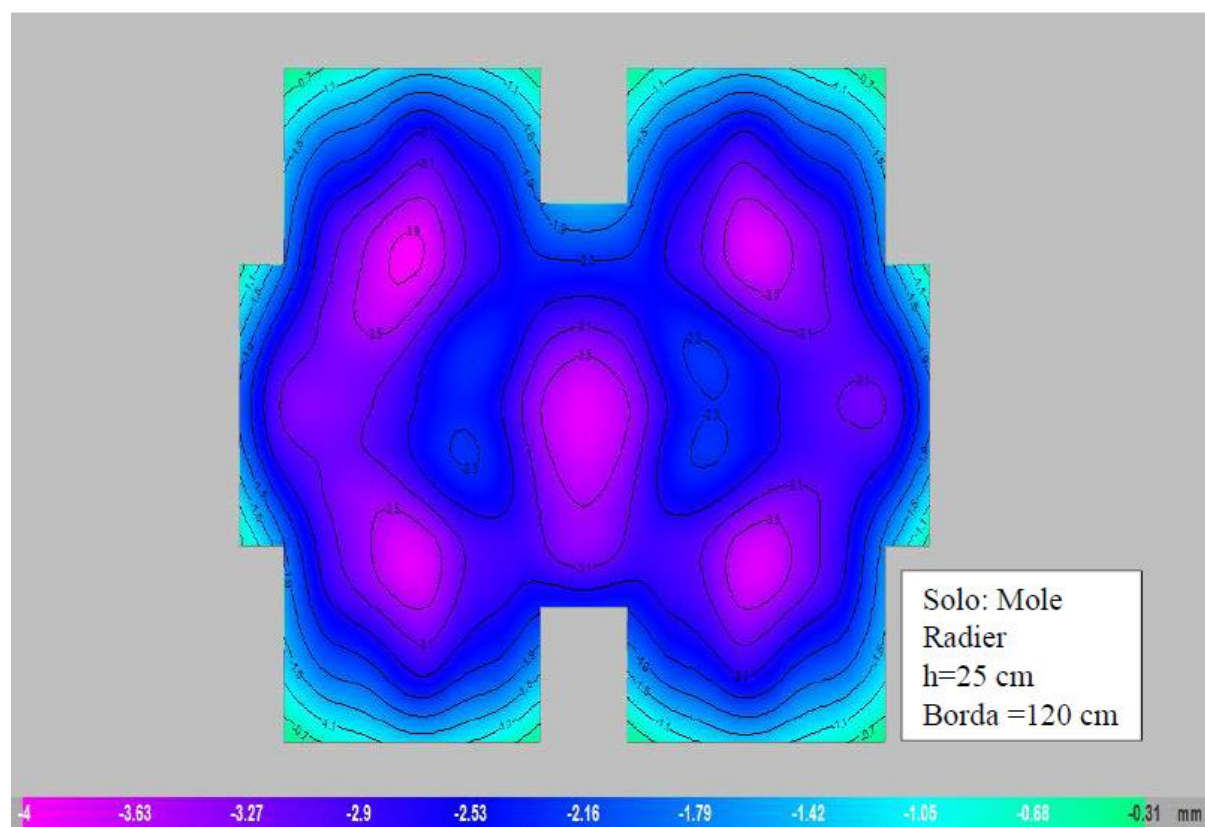


Figura 21. Recalque na fundação – modelo 2 (deslocamento em mm).

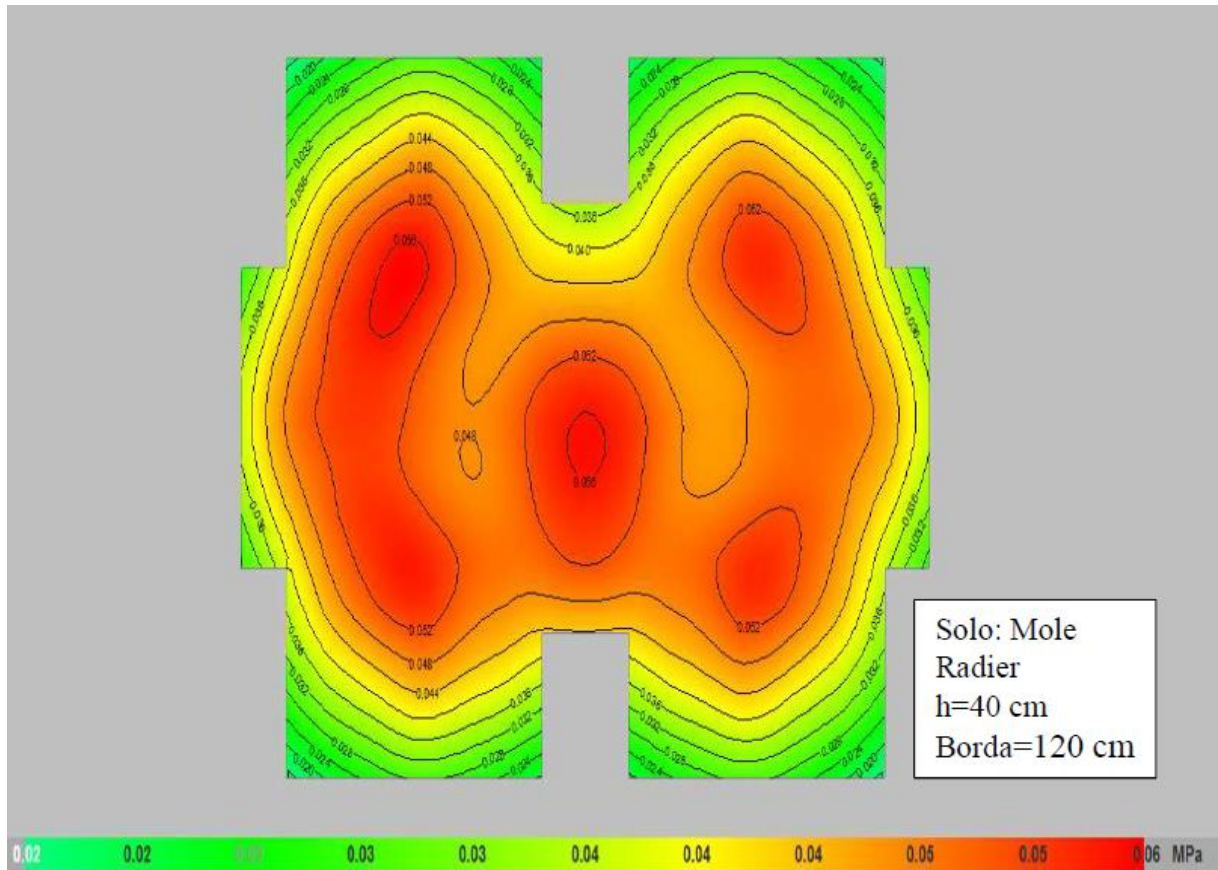


Figura 22. Tensões resultantes na fundação – modelo 3 (MPa).

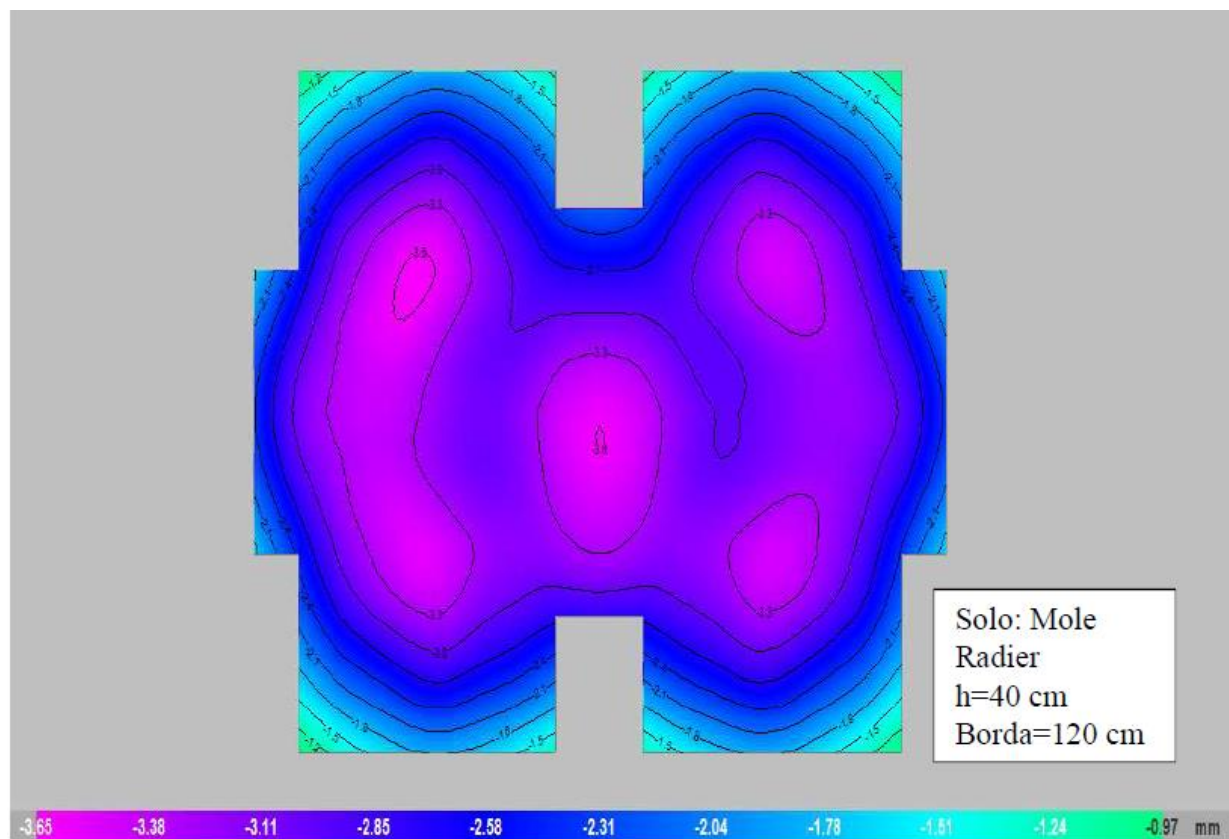


Figura 23. Recalque na fundação – modelo 3 (deslocamento em mm).

Apresenta-se na Tabela 1 o resumo dos resultados obtidos na modelagem numérica realizada. Neste estudo foram analisados os trechos com concentração de tensões verticais (regiões mais carregadas) e com recalques mais significativos.

Tabela 1. Resumo dos resultados obtidos na modelagem numérica.

Modelo	Espessura do radier h (cm)	Tensão (MPa)	Recalque (mm)	Taxa de armadura (kg/m ³)
1	16	0,07	4,7	83,93
2	25	0,06	3,9	46,70
3	40	0,056	3,6	36,47

Na Figura 24 é apresentado em forma de gráfico a mudança na tensão na fundação, na medida em que é aumentado a espessura do radier. Percebe-se que essa mudança não é linear, uma vez que o conjunto de fatores que influenciam neste parâmetro tem natureza complexa, portanto, não trivial. Similar análise pode ser encontrada ao recalque obtido na fundação (mm), Figura 25 e na taxa de armadura nos 3 modelos, Figura 26. Essa última, tende a acompanhar uma relação exponencial ou polinomial. Visto o exposto, salienta-se a importância da consideração da interação solo-estrutura nos projetos de engenharia estrutural e geotécnica.

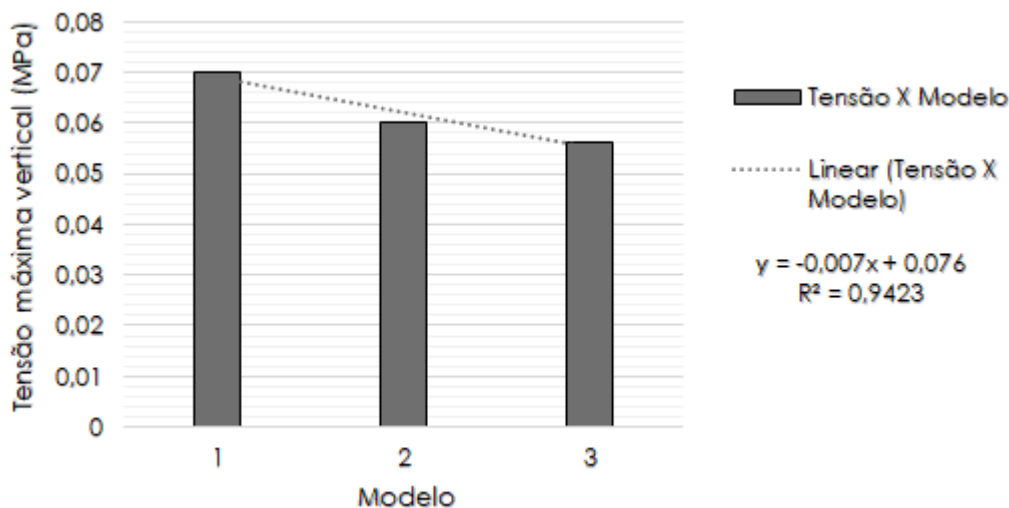


Figura 24. Gráfico tensão na fundação x modelo estudado

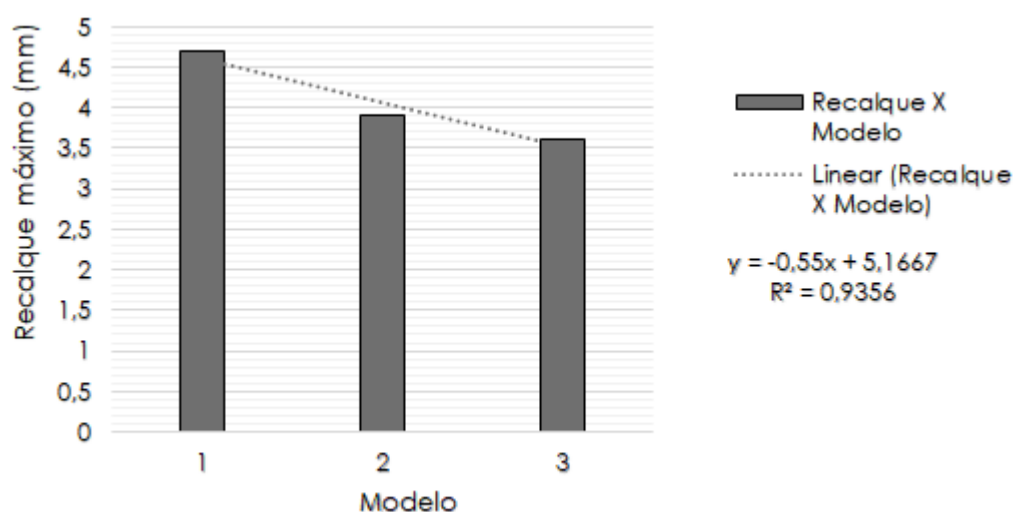


Figura 25. Gráfico tensão na fundação x modelo estudado

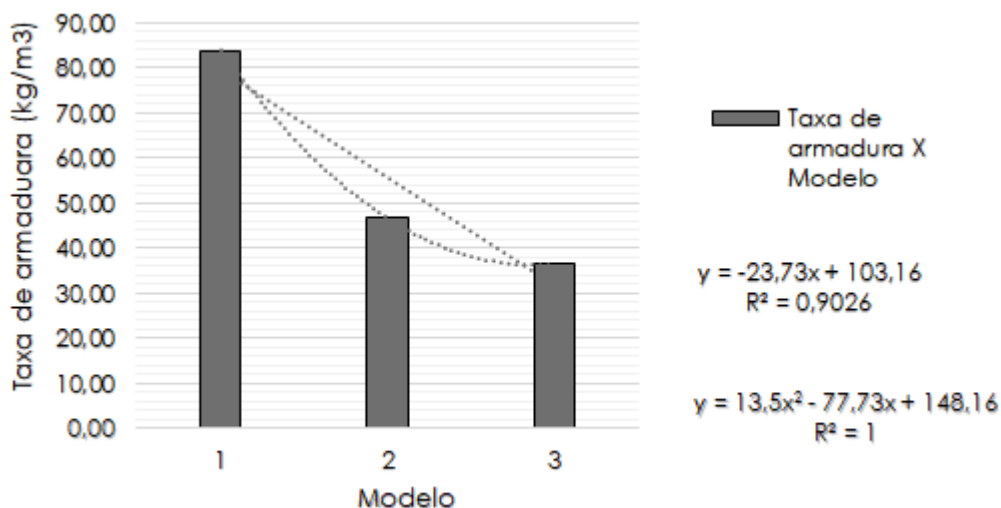


Figura 26. Gráfico tensão na fundação x modelo estudado

6 Conclusões

Nesta pesquisa concluiu-se que a consideração da ISE no estudo de caso analisado, possibilitou uma redistribuição dos esforços ao longo da estrutura na medida em que se aumentava a espessura do radier (estrutura de fundação), sendo observado, assim um alívio de esforços nas paredes centrais mais carregadas e acréscimos nas paredes da periferia. Assim, regiões com concentrações de tensões ou recalques sofrem alívios, fazendo com que houvesse uma melhor uniformização dessas variáveis e impedindo que pontos localizados da fundação não atendam as condições de projeto, Estado Limite Ultimo (ELU) e Estado Limite de Serviço ou Utilização (ELS). Por fim, essa consideração no projeto, traz consigo a concepção de projetos mais realistas e muitas vezes mais econômicos, como observado em termos de taxa de armadura, onde o consumo diminuiu quase pela metade.

Agradecimentos

Ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET MG) pelo apoio a esta pesquisa. Os autores gostariam de agradecer também o apoio do Engenheiro Cláudio Márcio Ribeiro pelas preciosas contribuições quanto a modelagem numérica do radier do estudo de caso da referida pesquisa.

Referências bibliográficas

- [1] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NB-1. Cálculo e execução de obras de concreto armado. Rio de Janeiro, 1940.
- [2] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6122, Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2010.
- [3] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6118, Projeto de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- [4] T. B. Porto, B. Q. Mendonca, L. S. G. Carvalho. Basic design requirements for structures subjected to dynamic action. MECOM - ARGENTINA, 2012.
- [5] T. B. Porto. Estudo da interação de paredes de alvenaria estrutural com estruturas de fundação. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2010.

- [6] F. L. Carvalho. Sistema construtivo em paredes de concreto para edifícios: dimensionamento da estrutura e aspectos construtivos. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais. 2012.
- [7] I. K. L. Assis e T. B. Porto. Processo de dimensionamento estrutural de pilares de concreto armado. Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, Teófilo Otoni. v.1, n.1, 2019.
- [8] T. B. Porto e D. S. G. Fernandes. Curso básico de concreto armado. Editora Oficina de Textos. São Paulo. 2015.
- [9] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 16055, Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações — Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2012.
- [10] S. R. Farias. Análise estrutural de edifícios de parede de concreto com a incorporação da interação solo-estrutura e das ações evolutivas. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2018.
- [11] E. Testoni. Análise estrutural de edifícios de paredes de concreto por meio de pórtico tridimensional sobre apoios elásticos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2013.
- [12] E. Testoni e M. R. S. Correa. Análise de interação solo-estrutura em edifício de paredes de concreto moldadas no local. Revista fundações & obras geotécnicas. São Paulo. 2016.
- [13] C. T. Braguim e N. T. Bittencourt. Design of reinforced concrete walls casted in place for the maximum normal stress of compression. Revista Ibracon de Estruturas e Materiais. São Paulo, v. 7, n. 3, p. 498-533, jun. 2014.
- [14] J. P. Antoniazzi. Interação solo-estrutura de edifícios com fundações superficiais. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria. 2011.
- [15] T. B. Porto, R. M. Silva. Vertical stress analysis in structural masonry buildings considering soil-structure interaction. In: NWC-Nafems World Congress 2011, 2011, Boston - EUA. A World of Engineering Simulation - Proceedings. Boston-USA: NAFEMS Ltd, 2011.
- [16] C. M. Ribeiro. Estudo numérico do comportamento tensão-deformação de fundação do tipo radier. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade Federal de Ouro Preto, 2017.
- [17] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6489, Prova de carga direta sobre terreno de fundação. Rio de Janeiro, 1984.
- [18] D. C. Siqueira. Avaliação dos efeitos de 2ª ordem em pórticos planos de aço considerando apoios teóricos e interação solo-estrutura. Programa de pós graduação em engenharia civil. Centro federal de educação tecnológica de minas gerais. Belo horizonte. 2019.
- [19] D. A. VELLOSO e F. R. LOPES. Fundações, São Paulo, ed. Oficina de Textos, v. 1, cap. 6, p. 121-127, 2010.
- [20] H. Singh e J. N. Jha. Constitutive models for sustainable design of foundation systems. Ukieri Concrete Congress - Innovations in Concrete Construction. 2014.