

ESTADO DA ARTE DA INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA E SUA INFLUÊNCIA NOS RECALQUES DO SOLO

*Salatieu Eurípedes da Silva
Wanderson Pereira Farias de França
Rosemary Janneth Llanque Ayala*

Resumo: A consideração de vínculos indeslocáveis nas análises estruturais tem se mostrado ineficaz ao desprezar a interação provocada pela rigidez da estrutura e seus incrementos de solicitações a serem resistidos pelo solo. A análise da interação solo-estrutura (ISE) é considerada a forma mais eficaz de prever as reações que surgem com o progressivo aumento de cargas. O presente estudo se propôs a verificar na literatura a influência da rigidez estrutural nos recalques em fundações superficiais, além das técnicas de análise da ISE mais utilizadas na literatura e seus principais resultados. O número de pavimentos, edificações vizinhas, o processo construtivo dos pavimentos, o uso de cintas e a forma em planta são alguns dos fatores que influenciam na ISE. Os recalques estudados por diversos autores apontam que há redistribuição dos esforços para os elementos de fundação menos resistentes. Este recalque diferencial pode ocorrer por solicitações não previstas em projeto. Dentre as técnicas utilizadas destaca-se o acoplamento MEC/MEF, por esta técnica considerar o solo e estrutura em modelagens distintas, garantindo, assim, resultados mais precisos quanto ao incremento das solicitações no solo. Todos os trabalhos pesquisados apontam para significativas diferenças de cargas de projeto quando se consideram os efeitos da ISE em relação aos trabalhos que não levam em consideração esta interação.

Palavras-chave: Interação; Solo-estrutura; Recalques do solo.

***Abstract:** Consideration of displaced bonds in structural analysis has proven ineffective as it disregards the interaction caused by the rigidity of the structure and its incremental requests to be resisted by the soil. The analysis of soil-structure interaction (SSI) is considered the most effective way to predict the reactions that arise with progressively increasing loads. This study aimed to verify in the literature the influence of structural rigidities on settlements in shallow foundations, in addition to SSI analysis techniques most used in the literature and its main results. The number of floors, neighboring buildings, the construction process of the floors, the use of braces and the shape of the plants are some of the factors that influence the SSI. The settlements studied by several authors point out that there is redistribution of efforts for the less resistant foundation elements. This differential settlement may occur for requests not foreseen on the project. Among the techniques used, the BEM/FEM coupling stands out, as this technique considers the soil and structure in distinct models, thus ensuring more accurate results regarding the increase in requests on the ground. All papers surveyed point to significant differences in the weight defined in projects when considering the effects of SSI in relation to the ones that do not take into account this interaction.*

Keywords: Interaction; Soil-structure; Settlements of the ground.

Introdução

Os estudos destinados ao entendimento da interação entre solo e estrutura (ISE) vêm sendo consolidados com o passar dos anos. Anteriormente, as análises da deformabilidade do solo, para dimensionamento de elementos estruturais, baseavam-se em limitadas análises do engenheiro, associadas ao seu próprio bom-senso e experiência (SOUZA e REIS, 2008). A

ISE apresenta componentes mecânicos integrados, por isso tanto o sistema estrutural, a estrutura de fundações e a resistência do solo necessitam de análises integradas (RIBEIRO, 2005). É preciso compreender esta relação como um sistema de trabalho mútuo com o intuito de determinar a grandeza das solicitações dos esforços envolvidos nos elementos estruturais, além da natureza e as influências dos recalques em decorrência da redistribuição destes esforços.

A fundação é o elemento estrutural responsável por transmitir as solicitações da superestrutura para o solo e cabe ao engenheiro de fundações calcular suas dimensões. Uma fundação pode ser considerada superficial quando for assentada a uma profundidade que não ultrapasse duas vezes sua menor dimensão projetada (GUERRA e SALES, 2011). O engenheiro especializado no cálculo estrutural geralmente dimensiona a estrutura a partir da hipótese dos vínculos indeslocáveis (MENDONÇA, 2012), ou seja, fixa em bases imóveis, desconsiderando as respostas da superestrutura a possíveis deformações no maciço de solo, bem como a resistência do solo frente a incrementos nas solicitações.

Danziger et al (2005) salientaram que a ISE é geralmente considerada em casos de reconhecido recalque e onde há danos na estrutura de edificações já existentes. Por sua vez, Mendonça (2012) discorreu sobre a necessidade de se considerar este sistema de forma global para “minimizar os erros cometidos na determinação dos esforços e recalques”, uma vez que esta análise, com arrojados critérios metodológicos, representa cerca de 3% do custo total da obra, enquanto um possível reparo decorrente de danos causados por recalques não considerados no dimensionamento estrutural pode ser muito mais dispendioso. Uma análise sólida do comportamento da superestrutura sobre apoios móveis traz mais segurança e economia à obra (PORTO, 2010). Reis (2000) observou diferenças "superiores a 20% em relação ao caso clássico de estrutura apoiada sobre apoios rígidos" quando comparados a dimensionamentos da estrutura sobre apoios móveis.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas estabelece parâmetros para o cálculo da superestrutura, a NBR 6118 (2003), e em outra, a NBR 6122 (1996), as diretrizes para o dimensionamento de diferentes tipos, tamanhos e profundidade das fundações, baseados em análises do solo. No entanto, nenhuma das normas trata com o devido aprofundamento da ISE, somente está citada na NBR 8800 (2008) a necessidade de se levar em consideração todas as deformações que venham a ocorrer devido aos esforços solicitantes, indicando que a interação solo-estrutura deve ser contemplada no modelo.

Atualmente, “um dos desafios atuais nos projetos de estruturas e de fundações é a modelagem do comportamento do solo perante a estrutura” (GUERRA e SALES, 2011). A interação solo-estrutura é a linha de pesquisa responsável por desenvolver trabalhos e métodos que alimentam os projetistas. Algumas técnicas de determinação desta interação foram desenvolvidas e são hoje utilizadas como alternativa para o enfrentamento que a ausência desta análise provoca. Assim, o presente estudo tem como objetivo descrever o estado da arte da interação solo-estrutura, sua ação nos recalques e os métodos de análise mais utilizados para fundações superficiais.

Recalques no solo

Ao considerar a interação entre o solo e a estrutura, é preciso observar o comportamento do solo ao receber a sobrecarga. Estudos geotécnicos indicam três modelos de recalque: o recalque que ocorre devido à plasticidade do solo, conhecido como recalque imediato; o recalque devido a diminuição da pressão que a água deixa de exercer ao ser

expulsa dos vazios do solo, descrito na literatura como adensamento primário; e o adensamento secundário, que ocorre devido ao aumento gradual da deformação do solo que está submetido a tensão constante, dissipando todas as pressões neutras, fenômeno este conhecido como fluência (REIS, 2000).

Gonçalves (2004) ainda corrobora com o estudo dos recalques, ao observar que o recalque nos apoios tende a redistribuir as cargas entre os elementos estruturais. Quando o solo apresenta uma maior resistência para aquele apoio, ocorre uma transferência de solicitações para as fundações que estão apoiadas em solo com menor resistência. Este efeito da redistribuição das cargas atuantes, segundo Gusmão (1990), pode provocar danos na superestrutura quando a transferência de tensão for acentuada. Os danos podem variar desde fissuras em vigas e lajes até o esmagamento de pilares.

Além dos modelos mecânicos de determinação do comportamento do solo em resposta às tensões impostas, a previsão dos recalques sem fundações superficiais pode ser determinada por métodos que combinam parâmetros de deformação do solo obtidos em laboratório e em campo com modelos exatos; por modelo de previsão semi-empírico, onde os parâmetros de deformabilidade são obtidos por meio de ensaios de campo com penetração; e empiricamente, por meio de tabelas que apresentam valores de tensões admissíveis do solo, representando um valor aproximado de recalque limite (FUTAI, 2010).

A partir da Teoria da Elasticidade, Perloff (1975) desenvolveu a Equação 1 para previsão de recalques imediatos em solo contínuo, elástico, homogêneo, isotrópico e semi-infinito.

$$R_i = \sigma * B * \left(\frac{1-\nu^2}{E_s} \right) * I_w \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

B = menor comprimento da base da sapata;

ν = coeficiente de Poisson;

I_w = fator de influência, que depende da forma e da rigidez da sapata;

E_s = módulo de Elasticidade do Solo.

Recalque diferencial em fundações superficiais

Caputo (1985) relata que os recalques não são uniformes, pois estes tendem a acontecer em uns pontos mais que em outros. Souza e Reis (2008) definem recalques diferenciais como a "diferença entre os recalques absolutos de dois apoios" e acrescentam que estes "tendem a ser mais importantes que os recalques absolutos". A Figura 1 esboça a representação do recalque diferencial entre dois elementos de fundação.

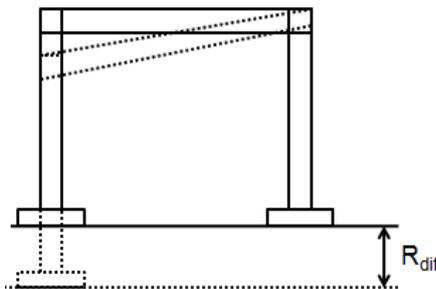


Figura 1 - Representação do recalque diferencial.

A fim de entender o recalque imposto por fundações superficiais independentes, Schmertmann (1970) se propôs a analisar o comportamento de solos não coesivos, ao longo de sua profundidade, submetidos a tensões impostas por sapatas. O autor percebeu que a deformação máxima ocorria a uma profundidade igual à largura da sapata e que, a partir desta profundidade, as deformações diminuía gradualmente até poderem ser desprezadas a uma profundidade maior ou igual a duas vezes a largura da sapata.

Chamecki (1954) observa em seu trabalho que as investigações realizadas sobre recalques em fundações rasas, invariavelmente, são calculadas sem considerar a rigidez da estrutura, isto é, supondo que cada pilar está desligado do conjunto estrutural e os recalques medidos são os reais calculados.

Velloso e Lopes (2004) apontam que quando o recalque é uniforme não há adição de novos esforços à estrutura, apenas "comprometimento das ligações de água e esgoto, escadas e rampas". No entanto, ao se observar a transferência, ou redistribuição, das cargas entre os pilares, sobrecarregando as subestruturas, o recalque deixa de ser uniforme, tornando-se, assim, recalque diferencial que pode por vezes, comprometer toda a estabilidade da edificação.

As distorções angulares têm como propósito estabelecer padrões de segurança para recalques diferenciais de forma que não venham a causar danos à estabilidade da estrutura. Chamecki (1954) apresenta discussões de fixações destes valores, que variam de 1/300 até 1/1000. Ainda afirma que para um mesmo valor de recalque diferencial calculado, sem considerar a rigidez da estrutura, pode fazer o recalque diferencial real variar desde zero - condição esta quando se tem uma estrutura perfeitamente rígida - até o próprio valor do calculado - levando-se em conta a estrutura em situação de rigidez nula -, oferecendo, assim, desde a segurança exagerada e mais dispendiosa até o perigo de ruína da estrutura.

Fatores que influenciam na interação solo-estrutura

Diversos fatores podem influenciar na redistribuição dos esforços entre vigas, pilares e fundações. Conhecê-los pode resultar em uma análise mais precisa e menos dispendiosa em relação ao projeto (MENDONÇA, 2012).

O número de pavimentos influencia na distribuição dos esforços entre os elementos estruturais. Reis (2000) e Gusmão & Gusmão Filho (1994) verificaram que, na medida em que se aumenta o número de pavimentos, o efeito da interação solo-estrutura vai diminuindo até cessar. Moura (1995) concluiu em sua pesquisa que os momentos fletores dos elementos estruturais nos primeiros pavimentos são maiores e diminui na medida em que se aumenta o número de andares. Este fenômeno pode ser explicado pelo fato dos primeiros andares apresentarem uma maior rigidez, pois, de acordo com Goschy (1978), esta rigidez não apresenta comportamento linear ao longo da edificação.

Sobre a influência exercida pelas edificações vizinhas, Reis (2000) verificou que ao se considerar o grupo de edifícios, percebe-se um maior recalque, e que este tende a aumentar significativamente ao se diminuir as distâncias. Em tese, o autor conclui que a interação solo-estrutura diminui quando se aumenta as distâncias entre as edificações.

Gusmão & Gusmão Filho (1994) também contribuíram no estudo dos fatores de interferência da ISE ao estudar o processo construtivo e seus efeitos nos recalques. Os autores perceberam que, com o aumento do número de andares, a estrutura vai se tornando cada vez

mais rígida, sendo que este aumento não é linear em relação ao número de pavimentos. Silva (2006) verificou que ocorre a redistribuição de cargas nas fundações na construção de cada pavimento. Estes resultados coincidem com os encontrados por Holanda Jr. (1998), ao concluir que uma análise da ISE em relação à construção de cada andar oferece aos projetistas dados mais reais de respostas às reações verticais e das solicitações nas bases dos pilares ao incrementar a carga de solicitação, sendo esta redistribuição maior nos primeiros andares.

Outro fator de interferência na ISE é a rigidez relativa entre a estrutura e o solo. Meyerhof (1953, apud MENDONÇA, 2012) e Gusmão (1990) evidenciaram que a rigidez relativa entre a estrutura e o solo determina o desempenho da construção em relação aos recalques total e diferencial. Ambos os autores mostraram em seus trabalhos que os recalques medidos diminuía concomitantemente ao aumento da rigidez relativa entre o solo e a estrutura. Ainda acrescentam que os recalques diferenciais estão mais sujeitos a esta relação que os recalques totais.

Gusmão (1990) verificou que o uso de cintas tende a uniformizar os recalques e que sua ação diminui na medida em que os pavimentos vão sendo construídos. Este fator interfere na ISE, pois a cinta impõe uma maior rigidez à estrutura de forma global e diminui com o aumentar dos pavimentos.

A forma em planta na qual a edificação é projetada oferece aos engenheiros estruturais elementos que contribuem na análise do recalque. Gusmão (1990) salienta que a forma em planta das edificações tende a uniformizar os recalques, principalmente em estruturas flexíveis. Barata (1986) verificou que esta tendência é mais acentuada em plantas que se aproximam de um quadrado.

Os métodos de análise da interação solo-estrutura

Meyerhof (1953, apud MENDOÇA, 2012) apresentou um estudo pioneiro onde mostrou que o solo, a subestrutura e a superestrutura trabalhavam de forma integrada para estimar os recalques totais e diferenciais dos componentes das fundações. No Brasil, Chamecki (1954) foi o primeiro autor a sistematizar uma metodologia de análise da ISE. Em seu trabalho, o autor calculou as reações de apoio da superestrutura com vínculos indeslocáveis e coeficientes de redistribuição de solicitações em cada apoio separadamente, para determinar os recalques unitários. Através do processo iterativo de consideração da rigidez da estrutura, com expressões estabelecidas, foi possível redefinir as novas reações de apoio e, conseqüentemente, novos valores de recalque. A partir deste estudo, Chamecki (1954) concluiu que, ao considerar a rigidez da estrutura, os recalques diferenciais das fundações tornam-se menos acentuados e mais próximos dos recalques medidos quando calculados por modelos convencionais.

Os estudos da análise da ISE tiveram um grande avanço com as contribuições de Poulos & Davis (1968) e, posteriormente, Poulos (1975), quando este propôs uma metodologia para a estimativa do recalque em fundações através do cálculo matricial em um solo semi-infinito, isotrópico e homogêneo, onde foram acrescentadas as análises da interação solo-estrutura. Para os autores, ao se considerar o modelo tridimensional deve-se considerar em cada apoio os componentes de resistência, sendo três de força e três de momentos, além dos componentes de deslocamento, considerados os três de translação e outros três de rotação. Assim, os vetores com componentes de reação e deslocamento estarão na ordem de $6n$, as matrizes que dimensionam a rigidez e a flexibilidade serão quadráticas, da ordem $6n \times 6n$ (Mota, 2009). A Tabela 1 apresenta a sequência de cálculo desta metodologia.

Tabela 1 - Modelo de análise da ISE proposto por Poulos (1975)

Descrição das relações	Equação	
Relação entre o comportamento da superestrutura com recalques de apoio: interação superestrutura-fundação.	(1)	$\{V\} = \{V_o\} + [SM] \{\delta\}$
Relação entre o comportamento da fundação e do maciço de solos, interação fundação-macício de solos.	(2)	$\{\delta\} = [FM] \{V\}$
Combinação entre as equações (1) e (2) para estabelecer a interação solo-estrutura.	(3)	$\{V_o\} = (I - [SM] [FM]) \{V\}$

$\{V\}$ - vetor de reações de apoio considerando a interação solo-estrutura;

$\{V_o\}$ – vetor de reações de apoio, obtido pela análise convencional, apoios indeslocáveis;

$\{\delta\}$ – vetor deslocamentos (translações e rotações) dos apoios com consideração da interação solo-estrutura;

$[SM]$ – matriz de rigidez da estrutura, determinada pela imposição de deslocamentos unitários nas três direções de cada apoio;

$[FM]$ – matriz de flexibilidade da fundação, determinada pela imposição de forças unitárias nas três direções de cada apoio.

Na equação (3), I representa a matriz identidade.

Baseado na publicação de Chamecki (1954), Aoki (1989) desenvolveu uma formulação simplificada de transferência de solicitações verticais de forma isolada para o solo e estendeu a metodologia para um grupo de estacas e blocos interligados pela superestrutura. Esta metodologia de análise da ISE, segundo Souza e Reis (2008), é um processo iterativo e apenas se encerrará após "os coeficientes de mola ou as reações de apoio convergirem para um mesmo valor". O modelo iterativo de Aoki (1989) adaptado de Chamecki (1954) é descrito da Tabela 2.

Tabela 2 - Modelo de análise da ISE proposto por Aoki (1989)

Passos	Dimensionamento	Considerações
Passo 1	Engenheiro estrutural dimensiona as solicitações nos pilares.	Considera as fundações vínculos indeslocáveis.
Passo 2	O projetista de fundações calcula os recalques baseado nas solicitações estruturais para elaborar o mapa de recalques.	Considera a rigidez da estrutura nula.
Passo 3	Engenheiro estrutural calcula os coeficientes de mola a partir dos recalques estimados e redimensiona as solicitações dos pilares.	Considera a estrutura sobre apoios elásticos.
Passo 4	Com as novas solicitações, o engenheiro de fundações estima os novos recalques.	Considera a rigidez da estrutura nula.

Outra forma de se avaliar a ISE é por meio da modelagem computacional, implementada em elementos de contorno e elementos finitos. Paiva (1993) apresentou sua formulação do método dos elementos de contorno para a análise da ISE em fundações rasas do tipo *radier*, admitindo a modelagem pelo MEC para a superfície de contato estaca-solo. A partir desta metodologia, Mendonça (1997) e Mendonça & Paiva (2000) incrementam o método estendendo a modelagem pelo MEC para todos os componentes que compõem a análise, inicialmente trabalhando com as estacas flexíveis e a fundação rasa modelada pelo MEC, para então admitir tanto os elementos da estrutura quanto o maciço de solos flexíveis.

Posteriormente, outros autores fizeram uso da análise da ISE pelo MEC e adicionaram outras análises através do método dos elementos finitos. Como exemplo, Almeida (2003), Ribeiro (2005) e Mendonça (2012) realizaram estudos onde combinaram os dois métodos

para a análise da ISE, onde o maciço de solo e a fundação foram modelados pelo MEC e a superestrutura pelo MEF.

A Tabela 3 apresenta alguns resultados obtidos a partir da análise da ISE por diferentes metodologias. Todos os trabalhos foram realizados com fundações diretas.

Tabela 3 - Resultado de análise da ISE por diferentes metodologias

Autor	Análise metodológica adotada	Principais resultados
Reis, 2000	Metodologia de Chamecki	Transferência de carga provoca recalques maiores que os determinados por análise unidimensionais nos pilares da periferia do edifício e recalques menores que os calculados sem a ISE nos pilares internos.
Almeida, 2003	Acoplamento MEC/MEF	Quanto menor a espessura do radier, maior a diferença verificada nos recalques provocados por cargas distribuídas e concentradas.
Gusmão e Calado Jr., 2003	Simulação computacional tridimensional	Acréscimo de até 30% na redistribuição das cargas de projeto no pilares.
Ribeiro, 2005	Acoplamento MEC/MEF	Relevante recalque diferencial entre dois blocos idênticos submetidos à mesma carga.
Souza e Reis, 2008	Modelagem iterativa de Aoki	Para solos estratificados, a Equação 1 não satisfaz a aproximação dos recalques medidos com os recalques reais.
Ribeiro, 2009	Acoplamento MEC/MEF	Esforços nas lajes quase 100% maiores quando analisado sem a ISE, além de solicitações e excentricidades não verificadas em pilares.
Guerra e Sales, 2011	Cálculo matricial de Poulos & Davis	Acréscimo da rigidez da estrutura reduziu o percentual do recalque diferencial entre os pilares de canto e centro do edifício.
Antoniazzi, 2011	Modelagem iterativa de Aoki	Maior deslocamento vertical junto ao apoio central encontrado no primeiro pavimento e o menor no último.
Mendonça, 2012	Modelagem MEF	Pilares mais carregados na análise sem a ISE tiveram valores de reações verticais menores do que na análise considerando a ISE.

Considerações finais

A fim de reduzir os custos e garantir maior segurança em serviço, engenheiros pesquisadores tem buscado esclarecer e estabelecer métodos que estimem com maior exatidão o comportamento do solo ao ser submetido a uma tensão transferida da estrutura para as fundações. Ficou evidenciado que uma análise das solicitações impostas pelas fundações, independente do comportamento da estrutura, geram interpretações que podem levar a danos na estrutura não previstos.

Para uma análise mais adequada da ISE, devem-se levar em consideração todos os recalques provocados pela estrutura. No entanto, os recalques diferenciais se relacionam melhor com a proposta da ISE por se considerar a transferência das solicitações entre os componentes estruturais das fundações gerando, assim, respostas diferentes para cada estrutura.

Dentre os métodos de análise da interação solo-estrutura estudados, o que se mostrou mais eficiente em prever os recalques e, conseqüentemente, maiores sobrecargas à estrutura foi o acoplamento entre os métodos computacionais considerando o solo semi-infinito nos elementos de contorno e a estrutura através de elementos finitos de forma acoplada.

Referências

- ALMEIDA, V. S. (2003). **Análise da interação solo não homogêneo/estrutura via acoplamento MEC/MEF**. São Carlos, 192p. Tese (Doutorado em Estruturas), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- AOKI, N. (1989). **Discussion to Session, Proceedings**. 12th ICSMFE, Rio de Janeiro. Vol 5. p. 2963-2966. 1989.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2003.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6122: Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro, 1996.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro, 2008.
- BARATA, F.E. **Recalques de Edifícios sobre Fundações Diretas em Terrenos de Compressibilidade Rápida e com a Consideração da Rigidez da Estrutura**. Tesede Concurso para Professor Titular do Departamento de Construção Civil, Escola de Engenharia da UFRJ. Rio de Janeiro, 1986.
- BARDEN, L. **Consolidation of clay with non linear viscosity**. Geotechnique. Vol 12. p. 60-64. 1965.
- CAPUTO, H.P. **Mecânica dos solos e suas aplicações: mecânica das rochas, fundações, obras de terra**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1985.
- CHAMECKI, S. **Consideração da rigidez no cálculo de recalques de fundações**. Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações. Anais. Porto Alegre: Ipsis Gráfica e Editora, 1954. p. 35-80.
- DANZIGER, B.R.; CARVALHO, E.M.L.; COSTA, R.V.; DANZIGER, F.A.B. **Estudo de Caso de Obra com Análise da Interação Solo Estrutura**. Rev. Eng. Civil, Braga, nº 23, 2005.
- FONTE, A. O. C.; FONTE, F. L. F; BORGES, A. C. L. **Influência da interação soloestrutura no comportamento estrutural global de edifícios altos**. XXXIII Jornadas Sudamericanas de Ingenieria Estructural. Santiago – Chile, 2008.
- FUTAI, M. M. **Considerações sobre a influência do adensamento secundário e do uso de reforços em aterros sobre solos moles**. 2010. 178f. Tese (Livre docência em Estruturas e Geotécnia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2010.
- GONÇALVES, J. C. **Avaliação da influência dos recalques das fundações na variação de cargas dos pilares de um edifício**. 2004. 126f. Tese (Mestrado em ciências em engenharia civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- GOSCHY, B. **Soil-Foundation-Structure Interaction**. *Journal of the Structural Division*. Vol 104, nº ST5. 1978. p. 749-761.

GUERRA, M.V.P.; SALES, M.M. **Interação fundação-estrutura em edifícios sobre sapatas**. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, 63°. 2011, Goiânia. Anais eletrônicos. Disponível em: <http://www.sbpcnet.org.br/livro/63ra/conpeex/pibic/trabalhos/MARCOS_V.PDF> Acessado em 30 de agosto de 2015 às 15h.

GUSMÃO, A. D.; GUSMÃO FILHO, A. J. **Avaliação da interação solo-estrutura em edificações**. X COBRAMSEG, Foz do Iguaçu, ABMS. Vol 1. Nov 1994. p. 67-74.

GUSMÃO, A. D.; CALADO Jr, I. H. **Estudo dos efeitos da interação solo-estrutura em uma edificação com fundação em terreno melhorado**. Disponível em: <<http://www.cobramseg2014.com.br/anais/2002/arquivos/2002.126.pdf>> Acessado em 02 de dezembro de 2015 às 23h.

GUSMÃO, A.D. **Estudo da Interação Solo-Estrutura e sua Influência em Recalques de Edificações**. 1990. 208f. Tese (Doutorado em ciências em engenharia civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro.

HOLANDA Jr, O. G. **Interação solo-estrutura para edifícios de concreto armado sobre fundações diretas**. 1998. 180f. Dissertação (Mestrado em engenharia de estruturas). - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

IWAMOTO, R. K. (2000). **Alguns aspectos dos efeitos da interação solo - estrutura em edifícios de múltiplos andares com fundação profunda**. 140 p. Dissertação (Mestrado em Estruturas), Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

MENDONÇA, A. V. (1997). **Análise da interação placa-estaca-solo viacominação do método dos elementos finitos com elementos de contorno**. Dissertação (Mestrado em Estruturas). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

MENDONÇA, A. V.; PAIVA, J. B. (2000). **A boundary element method for static analysis of raft foundations piles**. Eng. BoundaryElements, v. 24, pp. 237-47.

MENDONÇA, F.R.S. **Avaliação do efeito da interação solo-estrutura sobre o comportamento estrutural de edificações em aço e mistas (aço – concreto)**. 2012. 133f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

MOTA, M.M.C. **Interação solo-estrutura em edifícios com fundação profunda: método numérico e resultados observados no campo**. 2009. 187f. Tese (Doutorado-Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

PERLOFF, W. H. **Pressure distribution and settlement**. In: WINTERKORN, H.F.; FANG, H.Y. Foundation engineering handbook. New York: Van Nostrand Reinhold, 1975. p. 148-196.

PORTO, T.B.; SILVA, R.M. **Study of a structural masonry building with the analysis of soil – structure interaction**. Asociación Argentina de Mecánica Computacional, Mecánica Computacional, Buenos Aires, Vol. 29, p. 1555-15574, 2010.

POULOS, H. G. Settlements **analysis of structural foundation systems**. Proceedings, IV South – East Asian Conference on Soil Engineering, Kuala Lumpur, Malásia, Vol. 6. p. 52-62, 1975.

POULOS, H. G.; DAVIS, H. G. **The settlement behaviour of single axially loaded incompressible piles and piers**. Geotechnique, Vol. 18, p. 351-371, 1968.

REIS, J.H.C. **Interação solo-estrutura de grupo de edifícios com fundações superficiais em argila mole**. 2000. 172f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos.

RIBEIRO, D.B. **Análise da interação solo-estrutura via acoplamento MEC-MEF**. 2005. 130f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos.

RIBEIRO, D.B. **Estudo e aplicação de um elemento de contorno infinito na análise da interação solo-estrutura via combinação MEC/MEF**. 2009. 130f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos.

RUVER, C. A. **Determinação do comportamento carga-recalque de sapatas em solos em solos residuais a partir de ensaios SPT**. 2005. 155f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SILVA, N. U. P. **Análise das tensões verticais em edifícios de alvenaria estrutural considerando a interação solo-estrutura**. 2006. 123f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas). Escola de Engenharia da Universidade federal de Minas gerais.

SOUZA, R.A.; REIS, J.H.C. **Interação solo- Interação solo-estrutura para edifícios sobre fundações rasas estrutura para edifícios sobre fundações rasas**. ActaSci. Technol., Maringá, Vol 30, n. 2, p. 161-171, 2008.

TERZAGHI, K. **Theoretical soil mechanics**. John Wiley and sons: Nova Iorque, 1943.

VELLOSO, D.A.; LOPES, F.R. **Fundações**. São Paulo:Oficina de Textos, 2004.