

# AVALIAÇÃO DOS MÉTODOS DISPONÍVEIS PARA A ANÁLISE DE ESTRUTURAS DE PEQUENO PORTE COM FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS CONSIDERANDO A INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA (ISE)

Fernando Lopez Alborta

Discente do Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas – Turma 05 do Centro Universitário da Sociedade Educacional de Santa Catarina - UNISOCIESC - Joinville-SC, Brasil  
[fernandolopezalborta@yahoo.com](mailto:fernandolopezalborta@yahoo.com)

## Resumo:

Neste trabalho se faz uma comparação dos métodos disponíveis para a consideração da interação solo-estrutura em estruturas de pequeno porte de concreto armado com fundações superficiais. Os modelos considerados são variações do método de Winkler ou de molas que é o mais usado na prática para estes casos. Os modelos se diferenciam principalmente no cálculo dos coeficientes de mola. Para avaliar as alternativas usa-se um exemplo numérico de uma estrutura tridimensional de oito andares submetido a carregamentos típicos e comparam-se os efeitos nas solicitações de cálculo dos diferentes elementos da estrutura. Finalmente se dão recomendações e conclusões para a consideração da interação solo-estrutura em projetos estruturais similares na prática.

**Palavras-chave:** interação solo-estrutura; fundações superficiais; análise estrutural.

## Abstract:

*In this article a comparison is done of the available methods for the consideration of the soil-structure interaction for small reinforced concrete structures with shallow foundations. The analyzed models are variations of the Winkler's model related to the soil subgrade reaction. A numerical model is used for the comparison, consisting in a tridimensional structure of a building of eight floors subjected to typical loads. The different results of the models are compared, mainly in*

*relation to the effect in the design forces for the different members of the structure. Finally, some recommendations and conclusions are given for the soil-structure interaction consideration in projects of this type in practice.*

**Keywords:** *Soil-structure interaction, shallow foundations, structural analysis.*

## 1 Introdução

A maioria das estruturas envolve algum tipo de elemento estrutural em contato com o solo, sendo que as forças externas atuantes na estrutura provocam deformações tanto na superestrutura como no solo. O efeito da interação solo-estrutura (ISE) que se define como a influência recíproca gerada entre a superestrutura, o sistema de fundação e o solo; não é considerado normalmente no processo convencional de modelo das estruturas apesar do avanço tecnológico de hoje e da disponibilidade de diversos softwares para o cálculo das mesmas. Muito mais no caso de estruturas de pequeno porte de concreto armado, onde a superestrutura; composta por vigas, pilares e lajes é modelada, na prática, apenas com vínculos indeslocáveis de apoio, como os engastes ou rótulas, o que pode conduzir a resultados que não condizem com o comportamento real da estrutura.

Muitas investigações como as de Prakash *et al.* (2016) afirmam que, se a

interação solo estrutura é considerada na análise, principalmente em solos de mediana e baixa capacidade de carga, a distribuição dos esforços nos elementos estruturais poderia ser mais precisa, além de incluir o comportamento do solo no estudo.

No entanto, a pesar de que a maioria dos engenheiros disponha, na atualidade, de *softwares* de análise e projeto de estruturas, a interação solo-estrutura, normalmente não é considerada por muitas razões. Entre elas estão, a prática rotineira, a falta de dados do solo, falta de coordenação entre o engenheiro projetista e o engenheiro geotécnico e a falta de uma metodologia precisa entre outras.

Em base à revisão das fontes de informação disponíveis também se observa que a maioria dos trabalhos de investigação no Brasil está orientada ao estudo da ISE em estruturas de mediano a grande porte com fundações profundas, usando métodos e *softwares* mais complexos e custosos, o que justamente afeta também para que a ISE não seja considerada na prática para estruturas menores.

Este artigo pretende avaliar os métodos mais difundidos e simples para o cálculo da interação solo-estrutura que podem geralmente ser usados para o caso das estruturas de pequeno porte com o uso de *softwares* comuns para determinar sua aplicabilidade e assim estimar seu grau de aproximação na determinação das solicitações de cálculo.

## 2 Métodos

Para esta pesquisa experimental se fez primeiro uma revisão da metodologia disponível para o cálculo da interação solo-estrutura (ISE). Este efeito é de difícil modelação devido aos vários fatores de influência neste mecanismo como a presença de edificações vizinhas, a rigidez relativa estrutura-solo, o número de pavimentos da estrutura, o efeito do tempo e o processo construtivo entre outros.

Encontraram-se três grupos de metodologias para a análise da interação solo-estrutura (Prakash *et al*, 2016): 1) Modelos baseados no modelo original de Winkler ou de molas, 2)

os métodos dos elementos finitos (MEF) e de contorno (MEC) e 3) os métodos de aproximação elástica contínua. Os últimos dois grupos foram descartados para sua aplicação nas estruturas de pequeno porte por requerer de *softwares* especiais ou de estudos extensivos do solo que normalmente não se dispõem para este tipo de estruturas, ficando só o primeiro grupo, que se baseia num sistema de molas para representar a deformabilidade do solo proposto inicialmente por Winkler em 1867.

Assim a constante de mola da reação vertical ( $k_v$ ) está definida pela relação entre a pressão no solo ( $\sigma$ ) e o respectivo recalque ( $\rho$ ).

$$k_v = \frac{\sigma}{\rho} \quad (1)$$

Scarlat (1993) propôs uma maneira simplificada para quantificar o efeito da deformabilidade do solo usando um sistema de molas com um coeficiente elástico ( $k_{mv}$ ), o qual é diretamente proporcional ao módulo de reação vertical ( $k_v$ ) e à área carregada ( $A_f$ ).

$$k_v = \frac{k_{mv}}{A_f} \quad (2)$$

Os deslocamentos verticais e rotacionais são calculados com as seguintes equações:

$$\rho = \frac{\sigma}{k_{mv}} = \frac{F}{k_v A_f} \quad (3)$$

$$\varphi = \frac{M}{k_{m\theta}} = \frac{M}{k_v I_f} \quad (4)$$

Onde  $I_f$  é a inercia à flexão,  $F$  a força aplicada na sapata e  $M$  o momento fletor. Assume-se que o módulo de reação ( $k_v$ ) é igual para deslocamentos verticais e rotações considerando que a fundação é rígida. Os deslocamentos horizontais são desprezíveis na maioria dos casos.

O grande problema para este grupo está na associação do solo e seu altamente complexo comportamento ao módulo de reação. Ao longo de várias décadas, diversas metodologias foram desenvolvidas para sua determinação. No presente estudo analisaram-se os seguintes métodos, que são mais usados na prática no Brasil:

- a) Coeficiente de reação a partir de valores padronizados (tabelas).

- b) Correlação com a capacidade de carga do solo ou tensão admissível.
- c) Correlação direta a partir de recalques calculados para a fundação real com as propriedades elásticas do maciço de solos.

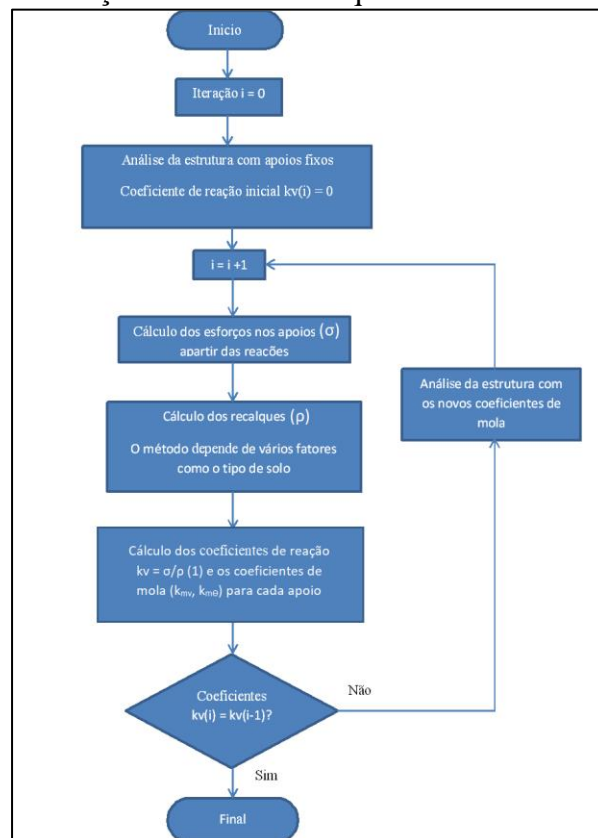
O método do coeficiente de reação a partir de valores padronizados considera os dados de tabelas que são utilizados na inexistência de dados precisos do solo. Tem-se, por exemplo, os valores sugeridos por Terzaghi (1955), os de Moraes (1976), que são muito utilizados no Brasil, e os valores sugeridos por Bowles (1996). Os valores para os diferentes solos são bastante similares em todas as referências consultadas. Normalmente recomenda-se adotar dois valores, o máximo e o mínimo para logo ter o comportamento da estrutura em ambos extremos.

O coeficiente de reação por correlação com a tensão admissível é outro método bem difundido e é considerado pelos dois *softwares* de análise mais utilizados no Brasil (TQS e Eberick) em seus respectivos manuais. Consiste na determinação da tensão admissível do solo usando métodos semi-empíricos, normalmente baseados nos resultados de ensaios SPT (“standard penetration test” em inglês) e logo utilizando a correlação de Safe - Morrison (1993) obtém-se o coeficiente de reação a partir da tensão admissível.

Por último há o método da correlação direta a partir de recalques calculados que é considerado o mais aproximado com a realidade já que é baseado no cálculo dos recalques para cada fundação. Normalmente, na forma mais simples, se trabalha com os recalques imediatos calculados usando a Teoria da Elasticidade, adotando um módulo elástico. Também é possível incluir não só os recalques imediatos sino também os recalques diferidos considerando um módulo de deformação equivalente. De fato o procedimento admite o uso dos recalques calculados usando quaisquer métodos teóricos ou empíricos disponíveis para os diferentes tipos de solo usando a Equação (1). O diferencial de este método está na possibilidade de incluir diferentes efeitos sobre o solo que estão inclusos no cálculo dos

assentamentos, mas precisa de varias iterações como se mostra na Figura 1. Assim como de um estudo mais aprimorado das características do solo para ter uma boa aproximação.

Figura1. Procedimento iterativo do método da correlação direta dos recalques



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 2. Modelo 3D usado para avaliar os diferentes métodos ISE.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Os diferentes métodos descritos foram avaliados por meio da modelagem de um edifício hipotético de oito andares em

estrutura de concreto armado com geometria conforme as Figuras 2 e 3. O edifício é um exemplo representativo típico de uma estrutura de pequeno porte.

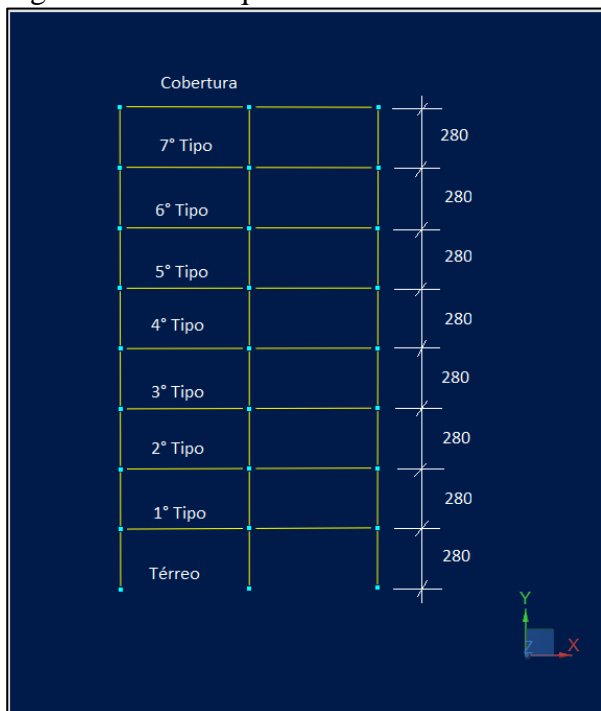
Tabela 1. Descrição dos modelos estudados

Modelo	Descrição	Nome
1	Correlação direta com recalques (4 iterações)	MOD 1
2	Estrutura com apoios fixos	MOD 2
3	Coefficiente de reação com valor tabulado máximo	MOD 3
4	Coefficiente de reação com valor tabulado mínimo	MOD 4
5	Correlação com a tensão admissível	MOD 5
6	Comparação com valores reportados no trabalho de Antoniazzi, 2011 (Programa ESPACIAL ISE)	MOD 6
7	Comparação com valores reportados no trabalho de Antoniazzi, 2011 (Programa TQS-SISE)	MOD 7

Fonte: Elaborada pelo autor.

O detalhe das simulações numéricas se mostra na Tabela 1 e foram feitas usando o programa RAM Elements 14.0 da Bentley Systems. O programa foi eleito pela disponibilidade do mesmo pelo autor, sendo que este programa de análise estrutural é de uso geral e é ótimo para o análise de estruturas de pequeno porte.

Figura 3. Corte esquemático do edifício.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Os dados do exemplo são resumidos na Tabela 2. As fundações são sapatas isoladas centradas, consideradas rígidas. O solo é de

mediana a baixa capacidade de carga. Seus dados são resumidos na Figura 4.

O comportamento do solo para a correlação direta com os recalques foi calculado pela teoria da elasticidade considerando uma camada argilosa semi-infinito, homogênea com o módulo de elasticidade para uma argila média ( $E = 30$  MPa), e o coeficiente de Poisson ( $\nu = 0,45$ ) correspondente.

Tabela 2. Dados do modelo de pórtico espacial.

Número de andares	8
Material: concreto armado	C25
Módulo de Elasticidade (tang.)	28000 MPa
Carga	Valor
Peso próprio	25 kN/m <sup>3</sup>
Carga permanente adicional	1 kN/m <sup>2</sup>
Sobrecarga	2 kN/m <sup>2</sup>
Paredes sobre vigas	2,5 kN/m <sup>2</sup>
Vento (em X) com velocidade	45 m/s
Fator S1=1, S3=1	
Combinacões de ações empregadas	
CB1:	1,0xG+1,0xQsc
CB2:	1,0xG+1,0xQsc+1,0Qv
CB3:	1,4xG+1,4x(Qsc+0,6xQv)
CB4:	1,4xG+1,4x(0,7xQsc+Qv)
CB5:	1,4xG+1,4xQsc
G = ações permanentes	
Qsc = sobrecarga de utilização	
Qv - ações do vento em X	

Fonte: Antoniazzi (2011).

Figura 4. Dados do solo para o Edifício.

COTA	N SPT	Descrição
-1,0 m	5	Solo Orgânico, superficial, areia fina muito pouco argilosa, cor preta, orgânica, frável, compactidade pouco compacta.
-2,0 m	7	Cota de Assentamento da sapata.
	14	
	11	
	14	Argila Arenosa, cor variegada, plástica, consistência média à rija.
	17	
	13	
-9,0 m	14	
10,0 m	12	Areia média muito pouco argilosa, cor cinza escuro, frável, compactidade medianamente compacta.
	12	
	22	Argila arenosa com silte, cor variegada, pouco plástica, consistência rija à dura.
-13,0 m	28	

Fonte: Antoniazzi (2011).

A equação para o cálculo de recalques foi:

$$\rho = \sigma \cdot B \cdot \left( \frac{1-\nu^2}{E} \right) \cdot I_p \quad (5)$$

O fator de influência adotado foi  $I_p = 1$  (sapatas rígidas), sendo  $\sigma$  a tensão e  $B$  a largura da sapata.

Os valores do coeficiente de reação adotados para os modelos 3 e 4 com valores tabulados detalham se na Tabela 3 junto aos valores referenciais.

Tabela 3. Valores referenciais para o tipo de solo do exemplo

Tipo de solo:	Fonte	$k_v$ min kN/m <sup>3</sup>	$k_v$ max kN/m <sup>3</sup>
Argila 200 < $q_a$ < 800kPa	Bowles	24000	48000
Argila molhada	Moraes	20000	30000
Argila (rija)	Terzaghi	16000	32000
Valores adotados		20000	31400

Para o caso da correlação com a tensão admissível, usou-se o método semi-empírico baseado no SPT, tomando um valor médio do  $N_{SPT}$  no bulbo de tensões:

$$\sigma_{adm} = \frac{N_{SPT}}{50} \text{ (MN/m}^2\text{)} \quad (6)$$

Os valores obtidos estão entre 2 e 3 kgf/cm<sup>2</sup>, tomando-se um valor conservador de 2 kgf/cm<sup>2</sup>. Usando a correlação de Safe - Morrison (1993), tem-se um valor de  $k_v = 39230$  kN/m<sup>3</sup>.

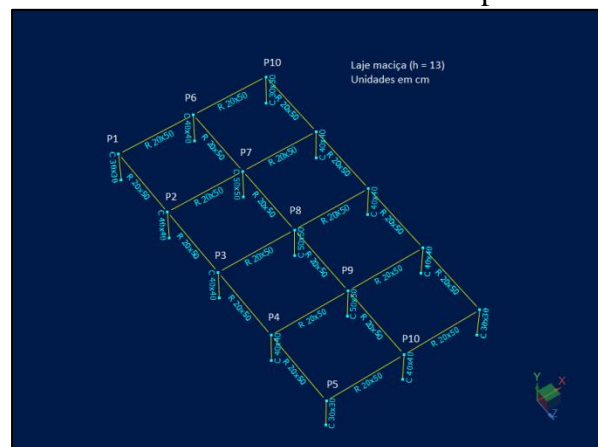
Na análise estrutural empregou-se o modelo de pórtico espacial com a modelação das lajes como elementos de placa. A não linearidade física foi considerada utilizando-se o valor reduzido de rigidez à flexão (0,7.Eci.Ic) tanto para vigas quanto para pilares, conforme permitido pela NBR 6118. Os efeitos globais de segunda ordem foram avaliados com um método iterativo incluso no programa RAM Elements. Os dados dos elementos da estrutura e as formas estruturais para cada andar mostram-se na Figura 5.

As combinações de carga 1 e 2 foram utilizadas para o dimensionamento das sapatas e as combinações 3, 4 e 5 em estado último, foram avaliadas para o desenho dos

diferentes elementos da estrutura. Cabe mencionar que tanto as cargas como as combinações de ações estão simplificadas para facilitar as comparações.

O exemplo utilizado é o mesmo que foi usado em duas referências consultadas (Antoniazzi, 2011 e Antoniazzi *et al*, 2010). Este fato permitiu comparar os resultados obtidos com outros métodos ainda mais aprimorados usados em esses trabalhos de investigação para a determinação dos recalques, como o de Aoki-Lopes do MOD 6 ou o uso dos softwares mais complexos como o SISE da TQS para o MOD 7. Também se observou que os resultados da análise com apoios fixos são muito aproximados aos valores reportados nas referências para o mesmo modelo, validando os resultados obtidos.

Figura 5 Formas estruturais e nomenclatura dos diferentes elementos estruturais por andar



Fonte: Elaborada pelo autor.

### 3 Resultados e discussão

Considerando os modelos estudados (Tabela 1), podem-se fazer diferentes comparações para notar a influência de cada modelo. A Tabela 3 apresenta as forças normais ou reações verticais da combinação CB1 para os pilares P1, P3, P6 e P8 que são representativas dos pilares de esquina (P1), laterais (P3 e P6) e central (P8). A Tabela 4 apresenta a mesma informação para a combinação CB2.

Usando os valores do modelo com apoios fixos (MOD2) como referência, tem-se criado

as Figuras 6 e 7. Desta forma, percebem-se melhor as diferenças entre os modelos para as reações.

Tabela 3. Reações verticais para CB1

Axial CB1 (KN)	MOD 1	MOD 2	MOD 3	MOD 4	MOD 5	MOD 6
P1	885,87	774,29	785,93	790,88	783,95	861,00
P3	1.632,53	1.510,73	1.527,42	1.534,82	1.524,51	1.577,00
P6	1.590,88	1.637,88	1.617,07	1.608,25	1.620,60	1.607,00
P8	2.654,45	2.861,56	2.832,38	2.819,20	2.837,51	2.751,00

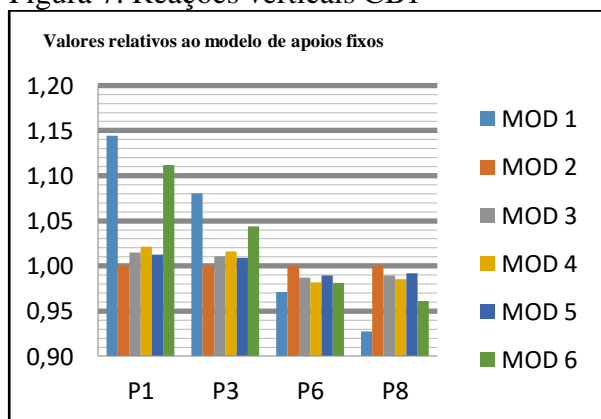
Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 4. Reações verticais para CB2

Axial CB2 (KN)	MOD 1	MOD 2	MOD 3	MOD 4	MOD 5
P1	1.026,36	906,37	916,27	920,64	914,56
P3	1.848,13	1.721,43	1.740,49	1.749,37	1.737,09
P6	1.590,96	1.637,95	1.617,13	1.608,31	1.620,66
P8	2.654,51	2.861,61	2.832,43	2.819,26	2.837,56

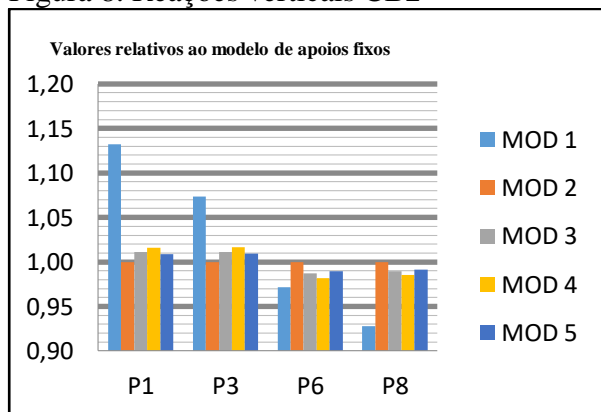
Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 7. Reações verticais CB1



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 8. Reações verticais CB2



Fonte: Elaborada pelo autor.

Nas Figuras 6 e 7 pode-se notar que o axial no pilar de esquina tem um incremento de 10 a 15% para os modelos de correlação direta com recalques e uma variação muito menor para os outros modelos. Também se observa que o pilar central tem a maior redução de axial (7%) para a correlação direta com recalques.

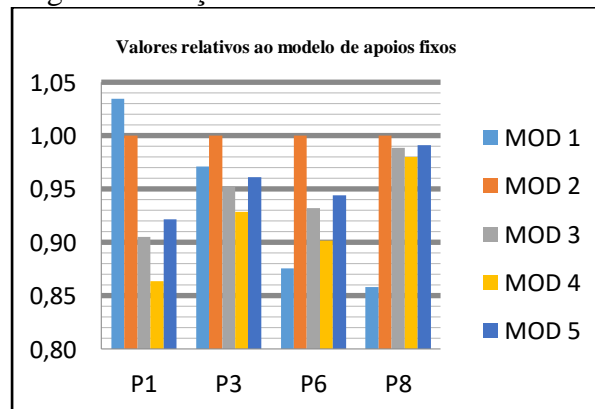
A Tabela 5 apresenta os momentos máximos dos apoios, considerando as cargas laterais segundo a direção global X. Deve-se notar que os valores são apresentados em módulo, uma vez que a simetria imposta para a armadura elimina a necessidade de consideração dos sinais. A Figura 9 mostra os valores relativos para estes momentos.

Tabela 5. Reações de momento, CB2

Mzz CB2 (KN m)	MOD 1	MOD 2	MOD 3	MOD 4	MOD 5
P1	51,89	50,16	45,40	43,33	46,22
P3	126,04	129,83	123,61	120,54	124,76
P6	104,48	119,33	111,22	107,60	112,63
P8	222,02	258,67	255,66	253,48	256,36

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 9. Reações de momento.



Fonte: Elaborada pelo autor

Deve-se observar que o momento do pilar de esquina (P1) e só acrescentado para o modelo de correlação direta com recalques (MOD1) e que as reduções para os outros pilares (P6 e P8) são muito maiores para o mesmo caso.

A Tabela 6 e as Figuras 10-15 mostram as solicitações de cálculo (estado limite último) para os pilares P1 (esquina), P3 (lateral), P8 (central) e vigas centrais nos eixos X e em Z (considerando a envolvente



para todos os andares). As figuras comparam as variações relativas de força axial, momento fletor (principal) e cortante para pilares e momento fletor máximo positivo, mínimo negativo e cortante para vigas.

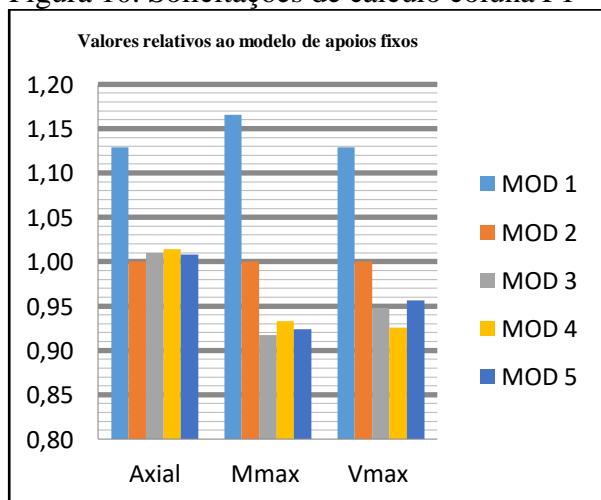
Tabela 6. Solicitações de cálculo de pilares e vigas

Colunas	MOD 1	MOD 2	MOD 3	MOD 4	MOD 5
<b>P1</b>					
Axial	-1380,80	-1222,90	-1234,70	-1239,90	-1232,70
Mmax	82,19	70,52	64,67	65,77	65,16
Vmax	49,85	44,15	41,84	40,87	42,22
<b>P3</b>					
Axial	-2471,80	-2302,30	-2326,50	-2337,90	-2322,10
Mmax	178,31	182,36	174,27	170,28	175,76
Vmax	110,12	101,35	100,06	99,43	100,29
<b>P8</b>					
Axial	-3716,40	-4006,30	-3965,50	-3947,00	-3972,70
Mmax	318,34	368,49	365,21	362,66	366,02
Vmax	162,15	170,65	174,08	175,52	173,51
<b>Vigas X</b>					
Mpos	89,73	85,24	85,80	86,15	84,61
Mneg	-276,22	-262,51	-261,33	-262,46	-257,90
Vmax	178,48	166,65	166,80	167,65	164,10
<b>Vigas Z</b>					
Mpos	74,27	74,43	74,14	74,02	74,19
Mneg	-139,79	-129,20	-128,29	-127,83	-128,46
Vmax	121,82	111,79	111,15	110,84	111,26

Unidades kN e kN-m.

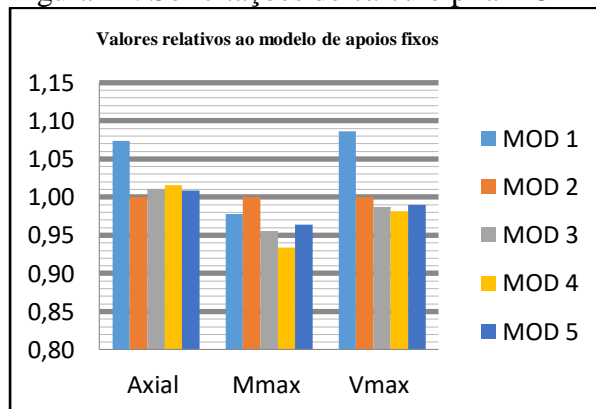
Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 10. Solicitações de cálculo coluna P1



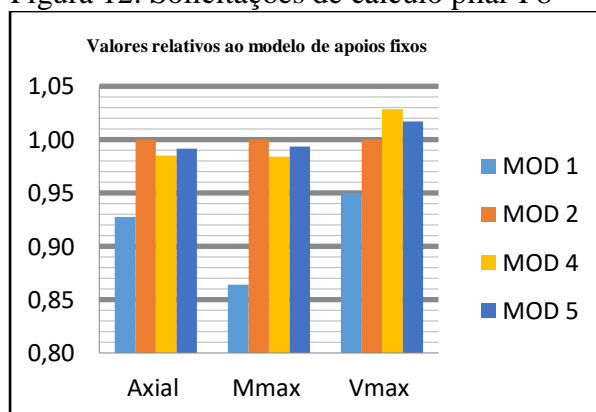
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 11. Solicitações de cálculo pilar P3



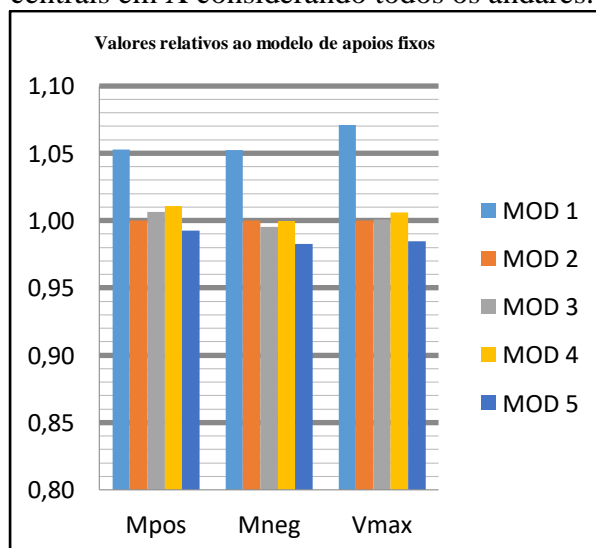
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 12. Solicitações de cálculo pilar P8



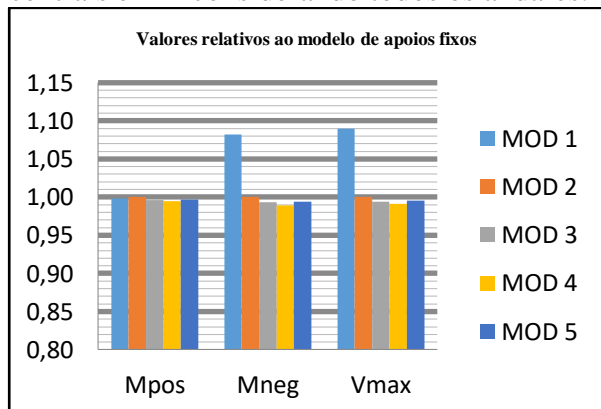
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 13. Solicitações de cálculo para vigas centrais em X considerando todos os andares.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 14. Solicitações de cálculo para vigas centrais em Z considerando todos os andares.



Fonte: Elaborada pelo autor.

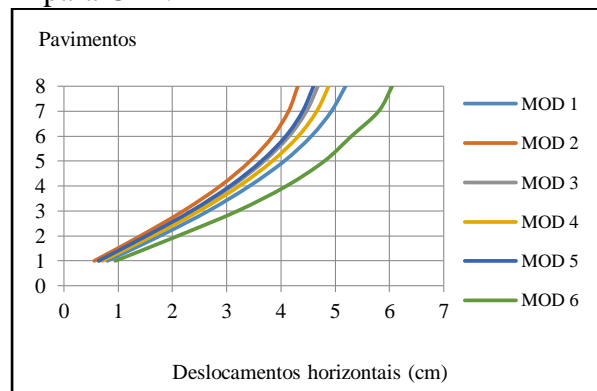
É interessante notar que as variações nas solicitações para o modelo de correlação direta com recalques têm valores muito diferentes dos outros modelos e que na maioria dos casos vai afetar o desenho de pilares e vigas. Para os outros modelos pode-se ver que as diferenças com o modelo de apoios fixos (MOD 2) são menores e que o cálculo feito com apoios fixos pode cobrir os requerimentos na maioria dos casos.

No modelo de correção direta com recalques verificou-se também uma redistribuição dos esforços normais nos pilares com uma nítida transferência de cargas do pilar central (P8) para os da extremidade (P1 e P3). Este efeito é típico do ISE (Prakash *et al*, 2016) e também foi observado no trabalho de Antoniazzi (2011). Nos outros modelos a redistribuição é muito menor.

Nas Figuras 15 e 16 se apresentam os deslocamentos horizontais obtidos para o modelo com a combinação de carga CB2 no eixo X. É importante observar que o modelo de correlação direta com os recalques (MOD 1) tem deslocamentos mais aproximados com os obtidos no trabalho de Antoniazzi (2011).

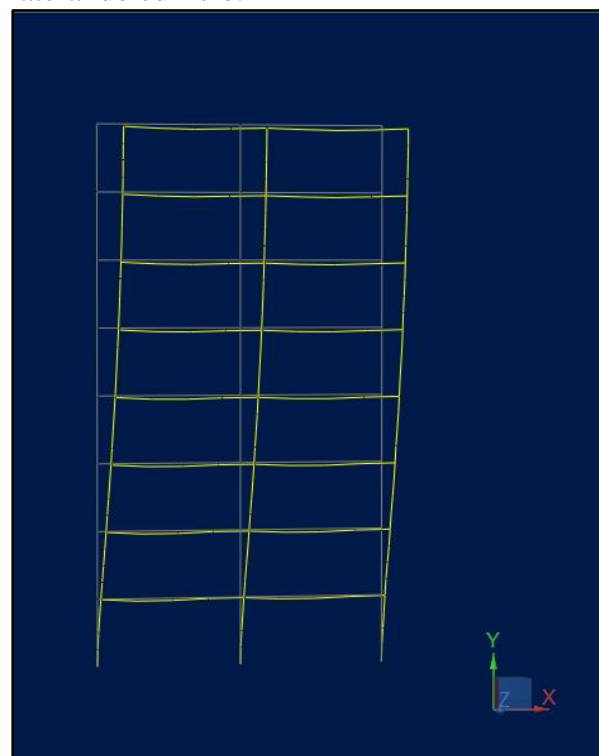
Por último, na Tabela 7, se mostram os recalques calculados para a combinação CB1 dos diferentes apoios e modelos. Note-se que os recalques para os modelos mais simples (MOD 3, MOD 4 e MOD 5) são uniformes para todos os apoios o que explica o motivo pelo qual os resultados obtidos são mais próximos do modelos de apoios fixos (MOD 2) enquanto os modelos mais aprimorados (MOD 1, MOD 6 e MOD 7) tem uma clara diferença nos recalques dos diferentes apoios.

Figura 15. Deslocamentos horizontais no eixo X para CB1.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 16. Esquema que mostra a deflexão lateral do edifício.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 7. Recalques obtidos para os diferentes apoios e modelos.

Apoio/MOD	1	2	3	4	5	6	7
P1	1,00	0,00	0,52	0,82	0,42	0,97	1,32
P3	1,37	0,00	0,52	0,83	0,42	1,48	1,78
P6	1,45	0,00	0,59	0,92	0,47	1,47	1,90
P8	1,88	0,00	0,59	0,93	0,48	2,10	2,37



## 4 Conclusão

O presente trabalho apresentou os diferentes modelos usados na prática para a análise ISE em estruturas de pequeno porte, junto com um exemplo prático. Observa-se que os métodos mais simples, tais como os que obtêm o coeficiente de reação a partir de valores padronizados (tabelas) ou a partir da correlação com a tensão admissível, parecem simplificados demais e não reproduzem o comportamento da estrutura principalmente no relativo aos recalques diferenciais e a distribuição das solicitações para o cálculo dos diferentes elementos da estrutura; embora os métodos que consideram os recalques parecem ser muito mais aproximados ao comportamento real da estrutura, inclusive para o caso em que só se considerem os recalques elásticos como no modelo usado no exemplo.

Infelizmente, quando se considera o uso dos métodos ISE mais simples como o de valores padronizados ou a partir da correlação com a tensão admissível, podem-se ter modelações pobres ou não muito diferentes do caso do modelo de apoios fixos. Isto acontece principalmente pela falta de uma interação entre os engenheiros de estruturas e ou de fundações ou que não permite modelar o efeito ISE adequadamente.

Conforme se observa no presente trabalho, a correta consideração da ISE introduz diferenças da ordem de 15%, em comparação com o modelo de apoios fixos e mostra a importância de considerar este efeito na análise estrutural para a maior segurança no desenho posterior. A modelação considerando o ISE pode ser mais importante quando o solo é mais deformável e tem que ser considerado em solos de alta deformabilidade.

A simulação conduzida em este trabalho considera um caso específico de solo, homogêneo, isotrópico e semi-infinito. Para qualquer caso na prática tem que se ter uma boa interação entre o engenheiro de estruturas e o engenheiro geotécnico para modelar o comportamento do solo adequadamente considerando principalmente os recalques e a

largura da fundação na determinação do coeficiente de reação.

Por último se verifica que a modelação considerando o ISE pode-se realizar com qualquer programa computacional de análise de estruturas que tenha a capacidade de incluir molas e que este efeito permite incluir, quando feito adequadamente, os recalques diferenciais em apoios.

## 5 Referências

AltoQi Eberick S3ENG - Tecnologia Aplicada à Engenharia S.A. interação solo-estrutura Disponível em: [http://help.altoqi.com.br/Tutorial\\_EB\\_vef/default.aspx?pageid=interacao\\_solo-estrutura](http://help.altoqi.com.br/Tutorial_EB_vef/default.aspx?pageid=interacao_solo-estrutura) Acesso em 15/04/2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto - procedimentos**. Rio de Janeiro, 2014. 238 p.

BOWLES, Joseph E. **Foundation Analysis and Design**, 5th Edition, Singapura McGraw-Hill, 1996, p 505.

ANTONIAZZI, J. P. **Interação Solo-Estrutura de Edifícios com Fundações Superficiais**. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria /Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Dissertação de Mestrado 2011. 139 p.

ANTONIAZZI, J. P.; ALVA, G. M. S.; SOARES, J. M. D. **Metodologia Simplificada para a Construção da Interação Solo-Estrutura em Edifícios com Fundações em Sapatas Isoladas**. Engenharia Estudo e Pesquisa. Santa Maria, v 10 – n. 2 – p 3-14- jul/dez 2010.

MORAES, M.C. **Estruturas de Fundações**. 3ª. Ed. São Paulo. McGraw-Hill do Brasil, 1981.

MORRISON Nelson. **Interacción suelo-estructuras**: semi-espacio de Winkler. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España, 1993.

PRAKASH M. Y.; GHUGAL R. L.; WANKHADE R. L. **Study on Soil-Structure Interaction: A Review.** International Journal of Engineering Research, Vol No 5 Issue Special 3, p. 737-741. 27-28/02/2016.

TERZAGHI, K. **Evaluation of coefficients of subgrade reaction.** Geotechnique, Vol. 5, No 4, p. 41-50, 1995.

TQS Informática Ltda. **SISEs Sistema de Interação Solo – Estrutura – Manual Teórico,** 02-02-2011

SCARLAT, A. S. **Effect of soil deformability on rigidity:** related aspects of multistory buildings analysis. ACI Struct. J., Detroit, v 90, n. 2. p. 156-162, 1993.