

# ESTUDO DAS FUNDAÇÕES DE UM CASO DE OBRA EM ESTACA RAÍZ ENVOLVENDO A INTERAÇÃO SOLO X ESTRUTURA

*Claúdio Renato da Silva Araújo<sup>1</sup>*

*Eliane Maria Lopes Carvalho<sup>1</sup>*

*Bernadete Ragoni Danziger<sup>2</sup>*

**Resumo:** O artigo apresenta a análise de um caso de obra de uma estrutura cujas fundações foram contempladas com o monitoramento dos recalques desde o início da construção. A edificação está assente em estacas tipo raiz em solos arenosos. A análise inclui aspectos relevantes da modelagem da estrutura e do comportamento do solo. Uma comparação é feita entre o procedimento de projeto usual, no qual se considera a estrutura apoiada em suportes indeslocáveis, e o procedimento que leva a resultados mais próximos da realidade, que considera os apoios susceptíveis a recalques. Este último enfoque permite que aspectos relevantes da interação solo x estrutura sejam considerados, incluindo os efeitos de redistribuição de cargas, uniformização dos recalques e um comportamento mais realista do desempenho das fundações. O monitoramento dos recalques permite também o ajuste dos módulos de compressibilidade dos solos e uma comparação direta entre o comportamento previsto e o real.

**Palavras-chave:** instrumentação; interação solo x estrutura; fundações profundas; estaca raíz.

**Abstract:** This paper presents the analysis of a case history contemplating settlement monitoring since the beginning of construction. The building is founded on root piles on a sandy deposit. The analysis includes relevant aspects concerning the structure modeling and the soil behavior. A comparison is made between the common design procedure in which the structure rests on fixed supports with a much real approach considering the supports susceptible to settle. The last approach allows relevant aspects of soil structure interaction to be accounted for, including the effect of load redistribution, tendency to settlements equalization and a more realistic behavior of the foundation performance. Settlement monitoring also allows the adjustment of soil compressibility modulus and a direct comparison between predicted and real behavior

**Keywords:** instrumentation; soil structure interaction; deep foundation; root piles.

---

<sup>1</sup> Universidade Federal Fluminense – UFF.

<sup>2</sup> Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ.

## 1. INTRODUÇÃO

A interação solo x estrutura condiciona a forma como uma estrutura reage às solicitações ao ser submetida a um carregamento externo, apresentando cargas nas fundações em função das condições particulares do solo suporte e do tipo de estrutura.

O projeto estrutural costuma ser desenvolvido admitindo-se a hipótese de apoios indesejáveis. As fundações, por sua vez, são projetadas para as cargas do projeto estrutural convencional e com as características do solo local, desprezando-se o efeito da rigidez da estrutura. Fica, assim, estabelecida uma independência entre o solo de fundação e a estrutura. Dependendo do nível de deformação do terreno e da rigidez da estrutura, a interação solo-estrutura pode modificar significativamente o desempenho da edificação, apesar de ser desprezada na maioria dos projetos.

O recalque dos apoios provoca, na realidade, uma redistribuição de esforços nos elementos estruturais, podendo originar danos na superestrutura. Ocorre, em geral, uma transferência de carga dos apoios que tendem a recalcar mais para os que tendem a recalcar menos. Gusmão (1990) relata casos de esmagamento de pilares periféricos devido à sobrecarga proveniente de redistribuição da carga em edificações.

Entre os fatores intervenientes na interação solo x estrutura, Reis (2000) destaca: a rigidez relativa estrutura x solo, a influência recíproca entre os elementos de fundação de uma edificação, a influência da fundação de uma edificação sobre as fundações de obras vizinhas, a influência das etapas de construção e a modificação ocasionada pela execução de um reforço de estrutura ou de fundação na vizinhança.

A medição de recalques só costuma ocorrer em situações onde são observados problemas em edificações, tais como trincas ou rachaduras. Nestes casos, a velocidade dos recalques fornece elementos para uma eventual intervenção (reforço) ou medida de emergência como a desocupação da edificação. No entanto, Danziger et al. (2000) ressaltam que, nestas situações, não se tem nenhuma idéia dos recalques anteriores à instalação de pinos, ou seja, do desempenho das fundações até então.

Na cidade do Rio de Janeiro, diversas obras da Zona Oeste têm sido contempladas com medições de recalques desde o início da constru-

ção, contribuindo para que tal monitoramento represente um controle de qualidade das fundações. Estas medições foram iniciadas na COPPE/UFRJ em 1992, envolvendo a Construtora Ben e com contribuição da UFF. O presente artigo analisa um dos casos instrumentados.

## 2. DESCRIÇÃO DA EDIFICAÇÃO E DO SUBSOLO

O projeto da edificação é composto por um subsolo, pavimento térreo, dois pavimentos tipo, cobertura, casa de máquinas e caixa d'água, construção esta em concreto armado. Chegam às fundações 27 pilares e em cada pilar a quantidade de estacas é definida pelo carregamento incidente – pilares com 1, 2, 3, 4 e 6 estacas (no poço do elevador). Existem edificações encostadas nas divisas laterais do terreno.

Sua estrutura é composta de grandes varandas em balanço, grandes distâncias entre os pilares (principalmente na garagem) e rampas de acesso à garagem. Algumas vigas com grande rigidez servem de apoio para os pilares que nascem no primeiro pavimento, configurando uma concepção estrutural bastante utilizada atualmente.

A construção está assente em terreno arenoso, com compacidade aproximadamente crescente com a profundidade, cuja caracterização é ilustrada na Figura 1. Foram realizadas 3 sondagens (com profundidade variando de 22 a 36 m). Na sondagem mais profunda, observa-se a ocorrência de camada argilosa, a partir da profundidade de 21 m, com elevada consistência. A fundação profunda, em estacas do tipo raiz, se estende até a profundidade máxima de 13 m.

Próximo à superfície, a camada de areia se apresenta como pouco compacta a medianamente compacta. Com o aumento da profundidade, a areia é classificada como compacta a muito compacta. Observa-se a ocorrência de uma camada inicial de aterro variando de 0,50 a 0,90 m de profundidade.

## 3. MONITORAMENTO DOS RECALQUES

O monitoramento dos recalques foi realizado por técnicos da equipe da COPPE/UFRJ e descrito no relatório PEC-682-ne4 (2005):

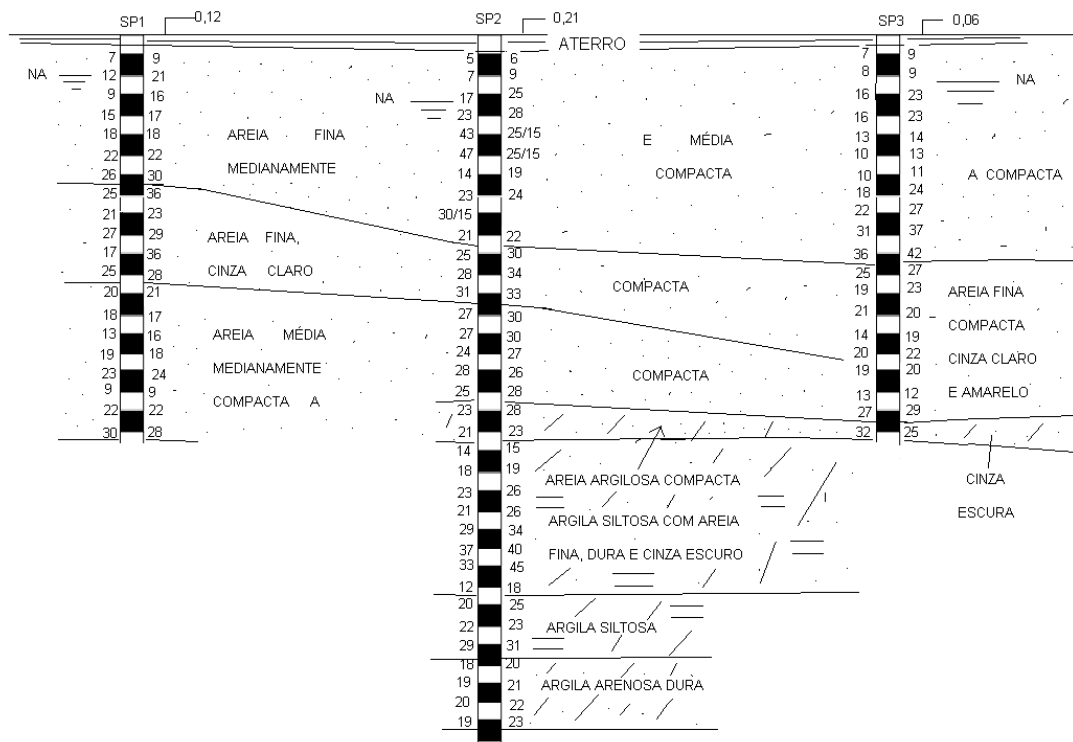


Figura 1. Perfil geotécnico

O equipamento da COPPE/UFRJ utilizado constituiu-se de:

- a) Nível Wild NA-2;
- b) Micrômetro de placa paralela Wild GPM3;
- c) Miras de ínvar de 1 m e 2 m de comprimento.

Para a realização das leituras, foram previamente instalados nos pilares, a uma altura de cerca de 25 centímetros acima do piso, pinos de latão, que funcionam como referências para os deslocamentos das fundações. A Construtora optou por instalar pinos em 21 dos pilares da obra, sendo tais pilares representados na Figura 2.

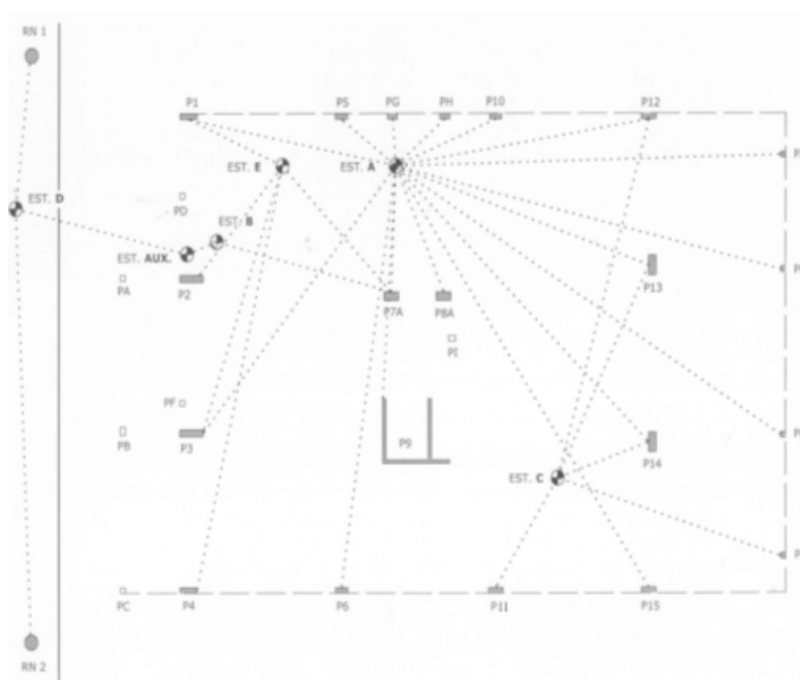


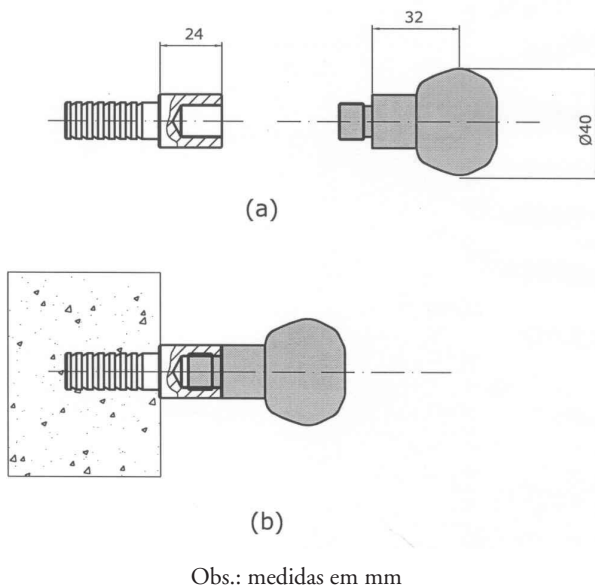
Figura 2. Desenho esquemático da posição de pilares com pinos instalados e das estações para leituras, PEC -682 -ne4 (2005)

Externamente à obra foram instalados dois pinos, em dois postes, situados supostamente fora da área de influência da ação do carregamento do prédio. Tais pinos têm a finalidade de funcionar como referências fixas e sua locação está também esquematicamente indicada na Figura 2, (RN1 e RN2).

O procedimento de medição consiste em se nivelar os pinos dos pilares em relação às referências externas. Na Figura 2, extraída do relatório PEC-682-ne4 (2005), estão também indicadas as estações (posições onde é instalado o nível) de forma a se otimizar o processo de medição.

Cabe destacar, conforme ressaltado no relatório PEC-682-ne4 (2005), que foi utilizado um novo tipo de pino. Este pino, de menor custo, possibilitou à Construtora instalar um maior número de pinos do que se fazia nas primeiras obras em que se implantou esse sistema de controle de qualidade, gerando mais confiabilidade às medidas efetuadas. O novo pino tem suas dimensões indicadas na Figura 3.

A Tabela 1 mostra as datas em que foram efetuadas as medidas de recalque, bem como as etapas correspondentes da obra.



**Figura 3. Conjunto pino de latão empregado; (a) sede e pino; (b) sede instalada no concreto e conjunto montado para medição, PEC -682 -ne4(2005)**

**Tabela 1. Etapas das medições experimentais dos recalques**

Etapa	Data	Fase da Obra	Modelo numérico
1	17-01-04	Concretagem da 2ª laje	Modelo 1
2	10-05-04	Concretagens da última laje e caixa d'água	Modelo 2
3	26-09-04	Obra com alvenaria e concretagem da caixa d'água concluídas	Modelo 3

Tanto os recalques absolutos como os diferenciais e distorcionais foram muito pequenos, não gerando maiores preocupações.

#### 4. MODELO NUMÉRICO DA EDIFICAÇÃO

A estrutura foi simulada por modelos numéricos desenvolvidos e analisada através do programa comercial SAP2000 versão 11, baseado no método dos elementos finitos (MEF). Foram elaborados modelos refinados tridimensionais, descritos a seguir, equivalentes às diversas etapas de medição experimentais dos recalques.

Para cada etapa de medição experimental dos recalques, designadas como 1 a 3 na Tabela 1, foi feito um modelo numérico tridimensional com as lajes, rampa, reservatórios e piscinas simulados por elementos de casca e as vigas e pilares por elementos de pórtico. Exceção foi feita para o pilar da caixa do elevador que apresenta grande rigidez, sendo seu comportamento melhor simulado através de elementos de casca. Foram consideradas todas as particularidades da estrutura, como as vigas com inércia variável e grande rigidez que servem de transição para os pilares que nascem no primeiro pavimento, bem como as vigas com inércia variável das varandas. As cargas de alvenaria foram consideradas uniformemente distribuídas nos elementos de pórtico quando apoiadas em vigas e como carga por unidade de área nos elementos de casca, quando apoiadas nas lajes. A sobrecarga e cargas devido à água nos reservatórios e na piscina não foram consideradas, uma vez que só foram simuladas as situações referentes às etapas de medições de recalque.

A Figura 4 apresenta o modelo numérico completo referente à etapa 1 (Tabela 1) da medição experimental (Modelo 1). A Figura 5 apresenta

apenas os elementos simulados como casca, ou seja, as lajes, as rampas, as paredes do reservatório e da piscina e o pilar do elevador. A Figura 6 apresenta a discretização utilizada para as vigas e pilares, enfatizando a diferença da simulação do pilar do elevador, que apresenta rigidez muito maior que os demais pilares. A apresentação destas duas últimas figuras visa enfatizar os principais detalhes da discretização utilizada para simulação do comportamento da estrutura. Em todas estas figuras, os modelos estão apresentados na condição de apoios indeslocáveis. Os modelos com apoios elásticos não são apresentados, por serem idênticos aos com apoio rígido, diferindo apenas nas condições de contorno.

A Figura 7 apresenta o modelo numérico tridimensional correspondente às etapas 2 e 3 de medições dos recalques (Modelos 2 e 3). É importante salientar que a única diferença entre estes dois modelos se refere às cargas das alvenarias que foram consideradas no modelo 3 (vide Tabela 1). Nestes modelos, foram feitas simulações semelhantes às do modelo 1, dispensando a repetição dos detalhes da discretização.

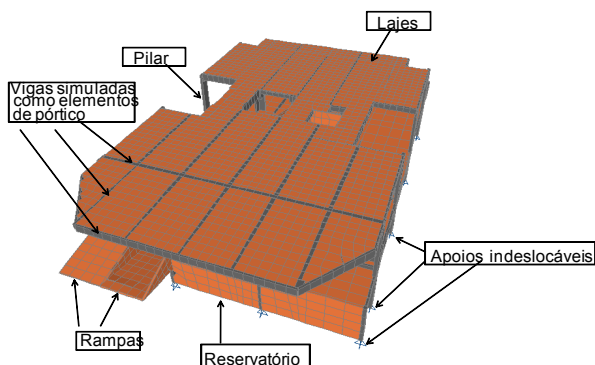


Figura 4. Modelo numérico tridimensional correspondente à etapa 1 (apoio rígido)

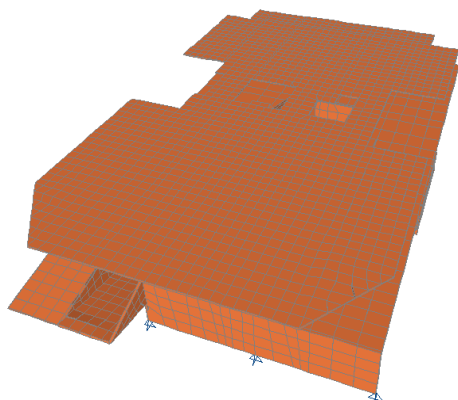


Figura 5. Modelo 1 – Modelo numérico dos elementos estruturais simulados como casca (lajes, rampas, reservatório e pilar do elevador)

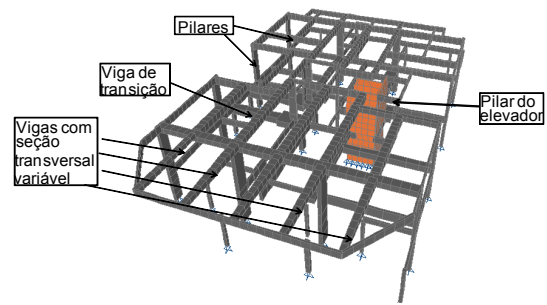


Figura 6. Modelo 1 – Discretização das vigas e pilares

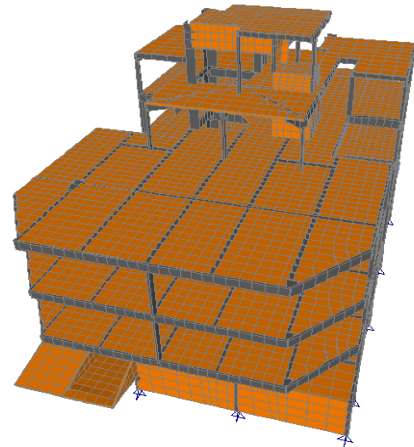


Figura 7. Modelo numérico tridimensional correspondentes às etapas 2 e 3

## 5. ESTIMATIVA DE RECALQUES E AJUSTE DOS PARÂMETROS DO SOLO

A estaca raiz, face ao seu pequeno diâmetro, costuma apresentar uma parcela de resistência de ponta pouco significativa em relação à resistência por atrito lateral. Como a área da ponta é proporcional ao quadrado do diâmetro e a área lateral é proporcional ao diâmetro, em estacas de pequeno diâmetro a parcela da capacidade de carga devida à resistência de ponta costuma ser pouco representativa.

Uma vez que o método de Aoki e Lopes (1975) requer, na entrada de dados, o modo de transferência de carga ao longo do fuste, é comum se assumir, no cálculo de recalques, que toda a capacidade de carga disponível do solo no fuste seja mobilizada antes de iniciada a mobilização da resistência de ponta. Sendo assim, apenas a parcela que excede o atrito lateral é transmitido à ponta.

Uma vez que o atrito lateral é mobilizado para pequenos deslocamentos, e em presença da parcela significativa do atrito em estacas de pequeno

diâmetro, verificou-se que, para a carga de trabalho, variável para as diferentes estacas da obra e para cada etapa da construção, a transmissão da carga da estaca ao solo se daria apenas por atrito lateral. A expectativa dos autores é, portanto, de que os recalques previstos sejam também bastante reduzidos.

A estimativa de recalques foi procedida inicialmente com base nas cargas provenientes do cálculo da estrutura em apoios rígidos. Esta estimativa foi realizada através do método Aoki-Lopes (1975), como detalhado por Araújo (2010).

## MODELO 2 COMO BASE PARA O AJUSTE DOS PARÂMETROS DO SOLO

Selecionou-se o modelo 2 para se proceder ao ajuste dos parâmetros de deformabilidade do solo, inicialmente obtido através da correlação dada por Decourt (1989),  $E = 3000 \times N_{SPT}$  (kN/m<sup>2</sup>) e  $\nu = 0,3$ , conforme Tabela 2. O perfil é arenoso em toda a sua extensão, tendo sido dividido em 3 ou 4 camadas, dependendo da sondagem, para efeito de estimativa de recalque.

**Tabela 2. Módulos de compressibilidade originais, obtidos por correlações**

Sondagem	Camada	Profundidade m De: Até:	E kN/m <sup>2</sup>
SP-1	1	0,0 a 8,6	63375
	2	8,6 a 14,0	82200
	3	14,0 a 20,5	57400
	4	20,5 a 35,4	77600

SP-2	1	0,0 a 10,5	87900
	2	10,5 a 13,7	97000
	3	13,7 a 20,6	82286
	4	20,6 a 35,4	77600
SP-3	1	0,0 a 11,7	63300
	2	11,7 a 20,5	65700
	3	20,5 a 35,4	77600

Procurou-se comparar a média dos recalques medidos com a média dos recalques calculados contemplando os mesmos pilares instrumentados, procedendo-se vários ajustes, até que a média dos recalques medidos e calculados fossem bem próximos. Chegou-se, assim, ao ajuste do modelo do comportamento do solo. Na Tabela 3 encontram-se os diferentes ajustes, listando-se os recalques medidos e os médios calculados para os pilares instrumentados.

A última linha da Tabela 3 contém a média de todos os recalques. Em se excluindo os valores em parênteses, têm-se apenas os recalques calculados para os pilares instrumentados. Os valores médios calculados apenas para os pilares instrumentados são, respectivamente para as quatro colunas de recalques calculados, 2,70 mm; 1,55mm; 1,33mm; 1,24mm. O valor da média dos recalques medidos, igual a 1,25mm, está bem próximo da média dos recalques calculados para o ajuste 3, para o qual os módulos de compressibilidade originais do solo foram multiplicados por 3,56, o que mostra que a correlação de Decourt (1989) foi conservativa para o caso em estudo.

**Tabela 3. Recalques calculados para diferentes ajustes do módulo de deformabilidade do solo, Modelo 2. Valores de recalque em mm**

Pilar	Recalque medido	Recalque calculado, Módulos da tabela 2	Recalque calculado – ajuste 1	Recalque calculado- ajuste 2	Recalque calculado-ajuste 3
P1	0,27	2,16	1,19	1,00	0,93
P5	0,57	2,50	1,51	1,32	1,24
PG	0,93	2,07	1,12	0,93	0,86
PH	0,88	2,11	1,17	0,99	0,92
P10	0,93	2,59	1,39	1,16	1,07
P12	0,54	2,09	1,18	1,01	0,94

PD	-	(3,39)	(2,20)	(1,97)	(1,88)
PJ	-	(1,13)	(0,58)	(0,48)	(0,44)
PA	-	(2,93)	(1,65)	(1,41)	(1,31)
P2	-	(3,66)	(2,21)	(1,93)	(1,83)
P7A	2,17	3,94	2,33	2,03	1,91
P8A	2,78	3,97	2,48	2,19	2,08
PI	-	(3,77)	(1,94)	(1,59)	(1,46)
P13	1,45	3,16	1,88	1,63	1,54
PK	1,44	1,46	0,78	0,65	0,60
PB	-	(2,70)	(1,45)	(1,21)	(1,11)
P3	1,82	3,98	2,33	2,01	1,89
P9	1,53	4,23	2,53	2,21	2,08
P14	1,69	3,39	2,04	1,78	1,68
PL	-	(1,46)	(0,77)	(0,64)	(0,59)
PE	-	(4,30)	(2,78)	(2,49)	(2,38)
PC	-	(1,48)	(0,64)	(0,48)	(0,42)
P4	-	(2,41)	(1,28)	(1,06)	(0,98)
P6	0,57	2,74	1,44	1,19	1,09
P11	-	(2,31)	(1,28)	(1,09)	(1,01)
P15	0,25	1,91	1,11	0,96	0,90
PM	1,15	1,15	0,59	0,49	0,45
Média	1,25	2,70	1,55	1,33	1,24

Freitas (2010), ao analisar um banco de dados de areias, chegou, em valores médios, a uma correlação do tipo:

$$E_s = 8000xN_{60}^{0,80} \quad (1)$$

onde  $N_{60}$  é o valor do  $N_{SPT}$  convertido para 60% da energia potencial teórica, segundo a expressão abaixo.

$$N_{60} = N \frac{E}{E_{60}} \quad (2)$$

O valor da relação ( $E/E_{60}$ ) obtida no Brasil por diversos pesquisadores (e.g. Belincanta, 1985, 1998; Cavalcante, 2002; Odebrecht, 2003) foi de 1,37.

Logo:

$$N_{60} = 1,37xN_{SPT} \quad (3)$$

Com um valor médio de  $N_{SPT}$  para cada camada de solo, a Tabela 4 compara os valores finais dos módulos ajustados com aqueles calculados por Freitas (2010).

Observa-se que a correlação de Freitas (2010), embora forneça ainda resultados inferiores aos ajustados, apresenta um valor médio de ajuste de  $(269340/135836 = 1,98)$ , ou seja, de cerca de dois.

Com os ajustes assim procedidos, os recalques foram recalculados para todos os modelos.

**Tabela 4. Comparação entre os módulos ajustados e os propostos por Freitas (2010)**

Sonda-gem	Camada ( $N_{60} = N_{SPT} \times 1,37$ )	E Freitas (2010) (kN/ m <sup>2</sup> )	E ajustado (kN/m <sup>2</sup> )
SP-1	1 (28,9)	118000	225689
	2 (37,5)	145430	292728
	3 (26,2)	109076	204411
	4 (35,4)	138886	276346
SP-2	1 (40,1)	153447	313026
	2 (44,3)	166030	345433
	3 (37,6)	145556	293034
	4 (35,4)	138886	276346
SP-3	1 (29,0)	118450	225422
	2 (30)	121558	233968
	3 (35,43)	138886	276346
Média:		135836	269340

#### ESTIMATIVA DOS RECALQUES PARA OS MODELOS 1 A 3

As Tabelas 5 a 7 apresentam, na segunda coluna, os valores de recalques calculados pelo método de Aoki Lopes (1975) para os modelos 1, 2 e 3, supondo os apoios indeslocáveis (ou apoios rígidos), que é a forma usual de se proceder a previsão de recalques. As colunas seguintes, das mesmas tabelas, consideram a rigidez da estrutura, para o cálculo dos recalques, como detalhado abaixo.

A interação solo-estrutura foi considerada através de um processo iterativo. Inicialmente os apoios foram considerados indeslocáveis, fornecendo as cargas na fundação para estimativas preliminares dos recalques. Nas etapas seguintes, os apoios foram considerados como elásticos, já que a edificação está localizada em terreno arenoso (vide Figura 1), com coeficientes de rigidez calculados pela expressão:

$$K_i = P_i / w_i \quad (4)$$

onde:

$K_i$  = rigidez do pilar  $i$ ;

$P_i$  = carga no pilar  $i$ ;

$w_i$  = recalque do pilar  $i$ .

Este procedimento se justifica, uma vez ser o solo de natureza arenosa, de compressibilidade rápida, o que permite que se calcule os recalques pela teoria da elasticidade. Neste caso, não há par-

cela de recalque de natureza viscosa, que ocorre ao longo do tempo.

## 6. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

### INTERPRETAÇÃO EM TERMOS DA UNIFORMIZAÇÃO DOS RECALQUES

Observa-se, no modelo 1, Tabela 5, no qual a estrutura ainda não possui muita rigidez, uma maior variação entre os recalques calculados com a condição de apoio rígido quando comparado ao apoio flexível, com AR/AE na faixa de 0,57 a 1,55. AR designa a condição de apoio rígido e AE a de elástico.

Observa-se também que embora a média entre os recalques seja equivalente, o desvio padrão dos recalques calculados como apoio rígido, 0,31mm, é bem superior ao desvio padrão dos recalques calculados como apoio elástico, 0,21mm. Um menor desvio padrão, para o valor médio do recalque, resulta num menor coeficiente de variação quando se considera a interação solo x estrutura. Os valores de coeficiente de variação dos recalques são, respectivamente, de 0,45, para os apoios rígidos, e de 0,32 para a última iteração da situação de apoios elásticos. Tal fato indica que apesar do modelo 1 representar a estrutura apenas com a concretagem da segunda laje, esta já possui rigidez suficiente para a uniformização dos recalques, mesmo sendo estes bem pequenos.

A Tabela 6, apresenta os valores do recalque total previsto, agora para o modelo 2, para as cargas calculadas nas condições de apoio rígido e apoio elástico.

**Tabela 5. Valores do recalque total previsto, para o modelo 1, para as cargas calculadas nas condições de apoio rígido e apoio elástico (última iteração)**

Pilar	Recalque Total (mm)		AR/AE
	Apoio Rígido (AR)	Apoio Elástico (AE)	
P1	0,46	0,54	0,85
P5	0,64	0,62	1,03
PG	0,52	0,55	0,95
PH	0,53	0,53	1,00
P10	0,52	0,53	0,98



P12	0,47	0,47	1,00
PD	1,54	1,00	1,54
PJ	0,32	0,34	0,94
PA	0,69	0,66	1,05
P2	0,90	0,90	1,00
P7A	0,86	0,86	1,00
P8A	0,84	0,84	1,00
PI	0,89	0,87	1,02
P13	0,78	0,78	1,00
PK	0,46	0,43	1,07
PB	0,89	0,74	1,20
P3	0,88	0,92	0,96
P9	1,05	1,06	0,99
P14	0,86	0,85	1,01
PL	0,44	0,45	0,98
PE	1,44	0,93	1,55
PC	0,27	0,47	0,57
P4	0,45	0,46	0,98
P6	0,66	0,65	1,02
P11	0,56	0,56	1,00
P15	0,45	0,46	0,98
PM	0,33	0,32	1,03
Média	0,69	0,66	1,05
Desvio Padrão	0,31	0,21	-

À medida que a rigidez da estrutura vai aumentando, a extensão da diferença entre o cálculo de recalques para a condição de apoio rígido e apoio flexível (AR/AE) diminui, sendo (0,58 a 1,36) no modelo 2. Observa-se, de fato, que a faixa de variação é inferior à do modelo 1.

Nota-se, também, que embora a média dos recalques seja equivalente, para as duas condições, o desvio padrão dos recalques calculados como apoio rígido, 0,56mm, é também superior ao desvio padrão dos recalques calculados como apoio elástico, 0,48mm. Os valores de coeficiente de variação dos recalques são, respectivamente, de 0,45, para os apoios rígidos, e de 0,39 para a última iteração da situação de apoios elásticos. Tal fato revela também a uniformização dos recalques.

**Tabela 6. Valores do recalque total previsto, para o modelo 2, para as cargas calculadas nas condições de apoio rígido e apoio elástico**

Pilar	Recalque Total (mm)		AR/AE
	Apoio Rígido (AR)	Apoio Elástico (AE)	
P1	0,93	1,02	0,91
P5	1,24	1,20	1,03
PG	0,86	0,95	0,91
PH	0,92	0,95	0,97
P10	1,07	1,07	1,00
P12	0,94	0,96	0,98
PD	1,88	1,43	1,31
PJ	0,44	0,46	0,96
PA	1,31	1,19	1,10
P2	1,83	1,82	1,01
P7A	1,91	1,90	1,01
P8A	2,08	2,01	1,03
PI	1,46	1,53	0,95
P13	1,54	1,54	1,00
PK	0,60	0,58	1,03
PB	1,11	1,13	0,98
P3	1,89	1,86	1,02
P9	2,08	2,07	1,01
P14	1,68	1,65	1,02
PL	0,59	0,61	0,97
PE	2,38	1,75	1,36
PC	0,42	0,73	0,58
P4	0,98	1,00	0,98
P6	1,09	1,11	0,98
P11	1,01	1,04	0,97
P15	0,90	0,93	0,97
PM	0,45	0,45	1,00
Média	1,24	1,22	1,02
Desvio Padrão	0,56	0,48	-

A Tabela 7 apresenta os valores do recalque total previsto, agora para o modelo 3, para as cargas calculadas nas condições de apoio rígido e apoio elástico.

No modelo 3, a extensão da diferença entre o cálculo de recalques para a condição de apoio rígido e apoio flexível (AR/AE) é de (0,82 a 1,29), inferior à faixa obtida para os modelos 1 e 2.

**Tabela 7. Valores do recalque total previsto, modelo 3, para as cargas calculadas nas condições de apoio rígido e apoio elástico**

Pilar	Recalque Total (mm)		AR/AE
	Apoio Rígido (AR)	Apoio Elástico (AE)	
P1	1,11	1,20	0,93
P5	1,61	1,53	1,05
PG	1,01	1,14	0,89
PH	1,08	1,15	0,94
P10	1,37	1,36	1,01
P12	1,18	1,20	0,98
PD	2,16	1,68	1,29
PJ	0,49	0,51	0,96
PA	1,29	1,28	1,01
P2	2,11	2,05	1,03
P7A	2,27	2,26	1,01
P8A	2,54	2,45	1,04
PI	1,79	1,88	0,95
P13	1,85	1,86	0,99
PK	0,68	0,66	1,03
PB	1,13	1,35	0,84
P3	2,16	2,18	0,99
P9	2,46	2,44	1,01
P14	2,07	2,04	1,01
PL	0,71	0,72	0,99
PE	2,80	2,20	1,27
PC	0,49	0,60	0,82
P4	1,20	1,23	0,98
P6	1,43	1,44	0,99
P11	1,31	1,34	0,98
P15	1,16	1,19	0,97
PM	0,50	0,50	1,00
Média	1,48	1,46	1,01
Desvio Padrão	0,67	0,59	-

Observa-se, da mesma forma que nos casos anteriores, que embora a média dos recalques seja equivalente, para as duas condições, o desvio padrão dos recalques calculados como apoio rígido, 0,67mm, é também superior ao desvio padrão dos recalques calculados como apoio elástico, 0,59mm. Os valores de coeficiente de variação

dos recalques são, respectivamente, de 0,45, para os apoios rígidos, e de 0,40 para a última iteração da situação de apoios elásticos. Confirma-se assim, que para os três modelos analisados, apesar dos reduzidos recalques presentes numa obra em estaca do tipo raiz, observou-se a uniformização dos recalques quando se contempla a interação solo x estrutura.

## INTERPRETAÇÃO EM TERMOS DA REDISTRIBUIÇÃO DAS CARGAS

As Tabelas 8 a 10 resumem os resultados em termos de carga nos pilares, calculadas para a condição de apoio rígido e para as diversas iterações com o apoio elástico, até a convergência final das cargas (e uniformização dos recalques). A Tabela 8 resume os resultados do modelo 1.

Pode-se observar que enquanto para a maioria dos pilares as cargas foram praticamente mantidas, para este modelo 1 contemplando a menor rigidez dos três modelos, para os pilares P1, PD, PB, PE e PC ocorreram variações superiores a 10%. Estes são justamente os pilares que sofreram a maior influência da discretização da piscina e do reservatório em elementos de casca.

## MODELO 2

A Tabela 9 resume os resultados do modelo 2.

Pode-se observar que, para este modelo 2, contemplando uma rigidez intermediária, um maior número de pilares apresentou diferenças maiores que 10% em suas cargas, P1, PG, PD, PA, PI, PE e PC. Observa-se, assim, que com o aumento da rigidez da estrutura constatou-se uma maior redistribuição de cargas. Neste caso, para o mesmo valor de carga média, o desvio padrão diminuiu, ou seja, o coeficiente de variação reduziu com a interação, indicando a influência da rigidez da estrutura, confirmando-se o mesmo comportamento observado no modelo 1.

## MODELO 3

A Tabela 10 resume os resultados do modelo 3.

Para este modelo 3, que equivale ao modelo 2 com a inclusão das alvenarias, os seguintes pilares apresentaram diferenças maiores que 10% em suas cargas: P1, PG, PH, PD, PJ, PI,

PB, PE e PC. Este número é superior ao do modelo 2, o que é consistente face à maior rigidez da estrutura.

Porém, quando se observa a variabilidade das cargas como um todo, para o caso de apoio elástico, no modelo 2 o valor médio da carga foi de 371 e o desvio padrão 447, ou seja um coeficiente de variação de 1,20, enquanto que no modelo 3, o valor médio das cargas foi de 445 e o desvio padrão 523, o que equivale a um coeficiente de variação de 1,18. Isso indica que do modelo 2 para o 3 houve uma maior redistribuição das cargas.

**Tabela 8. Cargas nos pilares. Modelo 1**

Pilar	Carga em kN			
	Apoio Rígido Modelo (ARM)	Apoio Elástico Iteração 1	Apoio Elástico Iteração 2	Apoio Elástico Iteração 3
P1	165	211	218	219
P5	92	88	88	88
PG	66	70	71	71
PH	68	68	68	68
P10	120	122	122	122
P12	117	117	117	117
PD	156	99	92	90
PJ	33	36	36	36
PA	47	47	45	44
P2	554	547	553	556
P7A	242	241	242	242
P8A	227	225	226	226
PI	151	146	145	145
P13	347	350	350	350
PK	51	46	46	46
PB	72	64	57	55
P3	457	492	492	491
P9	1035	1048	1049	1049
P14	392	388	388	388
PL	48	49	50	50
PE	137	91	79	75

PC	14	38	54	59
P4	132	139	138	137
P6	166	163	163	163
P11	141	140	140	140
P15	120	123	123	123
PM	33	32	32	32
SOMA	5183	5180	5184	5182
Média	192	192	192	192
Desvio Padrão	216	220	220	220

## 7. CURVAS DE ISO RECALQUES

No capítulo anterior foi mostrado que a partir dos coeficientes de rigidez dos apoios para os três modelos numéricos, a estrutura foi re-analisada com os apoios elásticos. Para cada um dos modelos, foi procedido um processo iterativo. Com a análise da estrutura sujeita ao carregamento externo e com os apoios elásticos, são determinadas novas cargas nos apoios, como detalhado por Araújo (2010). Para as novas cargas são calculados novos recalques. Com base nos quocientes entre as cargas e os recalques, novos coeficientes de rigidez são determinados, diferentes dos anteriores. O procedimento é, então, repetido, de forma iterativa, até que as cargas calculadas numa determinada etapa se aproximem das cargas calculadas na etapa anterior.

A uniformização dos recalques pode ser também ilustrada através das curvas de iso – recalques.

### MODELO 1

A Tabela 11 apresenta os recalques instrumentados para as diversas etapas construtivas.

As Figuras 8 e 9 ilustram, respectivamente, para o modelo 1, as curvas de iso – recalques sem interação solo x estrutura (modelo de apoio rígido) e com interação solo estrutura (apoios elásticos), correspondentes à última iteração. A Figura 10 apresenta a curva de iso – recalques correspondentes aos valores medidos pela instrumentação.

Tabela 9. Cargas nos pilares. Modelo 2

Pilar	Carga em kN					
	Apoio Rígido Modelo (ARM)	Apoio Elástico Iteração 1	Apoio Elástico Iteração 2	Apoio Elástico Iteração 3	Apoio Elástico Iteração 4	Apoio Elástico Iteração 5
P1	346	392	401	404	407	407
P5	181	172	170	170	170	170
PG	94	109	112	113	113	113
PH	107	115	115	115	115	115
P10	251	253	252	252	252	252
P12	237	243	243	243	243	243
PD	167	126	117	114	112	112
PJ	33	37	37	37	37	37
PA	89	88	84	80	77	75
P2	1141	1106	1109	1123	1134	1140
P7A	567	560	561	562	563	564
P8A	617	589	587	587	587	587
PI	199	217	221	222	222	222
P13	690	689	690	690	690	690
PK	52	48	47	47	47	47
PB	65	84	88	81	74	70
P3	1018	1036	1031	1015	1003	998
P9	2050	2043	2040	2040	2039	2039
P14	771	755	754	754	755	755
PL	48	51	51	51	51	51
PE	213	173	159	149	141	138
PC	1	6	20	43	61	69
P4	321	342	341	337	335	334
P6	239	246	246	246	246	246
P11	243	252	252	252	252	252
P15	243	253	254	254	254	254
PM	33	33	33	33	33	33
SOMA	10016	10018	10015	10014	10013	10013
Média	371	371	371	371	371	371
Desvio Padrão	451	448	447	447	447	447

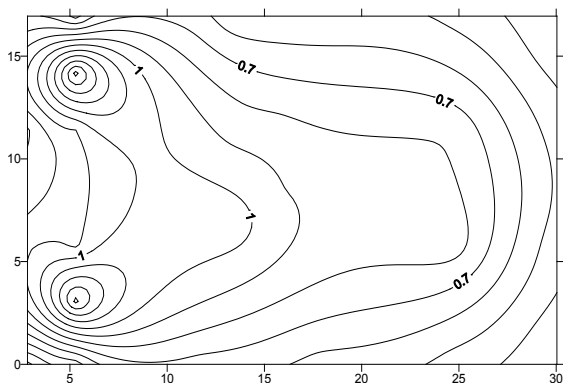


Figura 8. Modelo 1 / apoio rígido

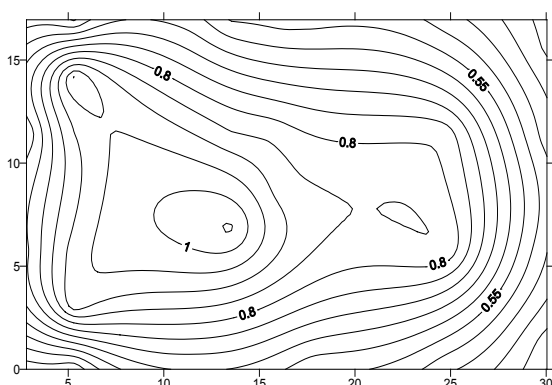


Figura 9. Modelo 1 / apoio elástico

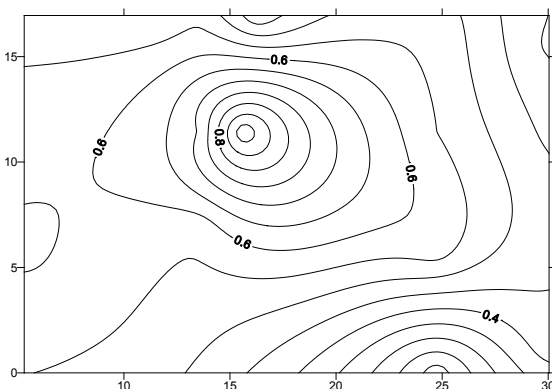


Figura 10. Modelo 1 / recalque medido

Das Figuras 8 e 9 pode-se observar que embora os recalques médios calculados sem e com interação solo x estrutura sejam equivalentes, a curva que contempla a interação apresenta menor variabilidade espacial nos valores de recalque, com uma maior tendência de uniformização dos mesmos. De fato, os maiores recalques chegam a valores da ordem de 1,54 mm, sem interação, enquanto quando se contempla o cálculo com a interação o recalque máximo é da ordem de 1,06 mm. Observa-se que a própria forma da curva é diferente, com duas regiões de maiores recalques,

quando não se considerou a interação, e apenas uma região, quando se considerou a interação. Observa-se que ambas as figuras indicam maiores valores de recalque à esquerda da edificação, onde ocorrem pilares de carga mais elevada. A Figura 10, dos recalques medidos, apresenta uma conformação em planta mais próxima da Figura 9, quando se considera a interação, o que já era esperado.

## MODELO 2

As figuras 11 e 12 ilustram, para o modelo 2, as curvas de iso-recalques sem interação solo x estrutura (modelo de apoio rígido) e com interação solo estrutura (apoios elásticos), correspondentes à última interação. A Figura 13 apresenta a curva de iso-recalques correspondente aos valores medidos pela instrumentação.

A Figura 13, dos recalques medidos, apresenta uma conformação em planta mais próxima da Figura 12, quando se considera a interação, o que já era esperado, como ressaltado anteriormente.

Tabela 10. Cargas nos pilares. Modelo 3

Pilar	Carga em kN			
	Apoio Rígido Modelo (ARM)	Apoio Elástico Iteração 1	Apoio Elástico Iteração 2	Apoio Elástico Iteração 3
P1	417	467	475	478
P5	243	228	225	224
PG	106	128	133	134
PH	124	137	138	138
P10	339	336	334	333
P12	304	311	311	311
PD	190	145	136	133
PJ	33	37	37	37
PA	75	79	78	75
P2	1314	1265	1261	1269
P7A	673	668	670	671
P8A	758	723	721	721
PI	252	274	278	279
P13	830	833	833	833
PK	55	51	51	51
PB	56	76	85	83
P3	1157	1181	1184	1174

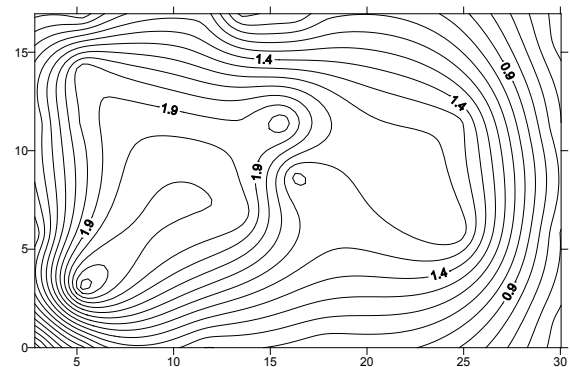
P9	2407	2399	2396	2396
P14	959	939	938	938
PL	57	60	60	60
PE	251	200	187	178
PC	-	2	9	24
P4	408	429	429	427
P6	337	344	344	344
P11	330	340	340	340
P15	321	334	334	334
PM	33	34	34	34
SOMA	12029	12020	12021	12019
Média	445	445	445	445
Desvio Padrão	529	524	524	523

Da mesma forma que se observou para o modelo 1, as Figuras 11 e 12 indicam que embora os recalques médios calculados sem e com interação solo x estrutura sejam equivalentes, a curva que inclui a interação apresenta menor variabilidade espacial nos valores de recalque, com uma maior tendência de uniformização dos mesmos. Há várias regiões de máximos locais, na curva sem interação, enquanto a curva com interação apresenta apenas uma região de maiores recalques, à esquerda do trecho central da obra, onde se localizam os pilares P2, P3 e P9. Os maiores recalques chegam a valores da ordem de 2,38 mm, sem interação, enquanto quando se contempla com o cálculo com a interação o recalque máximo é da ordem de 2,07 mm.

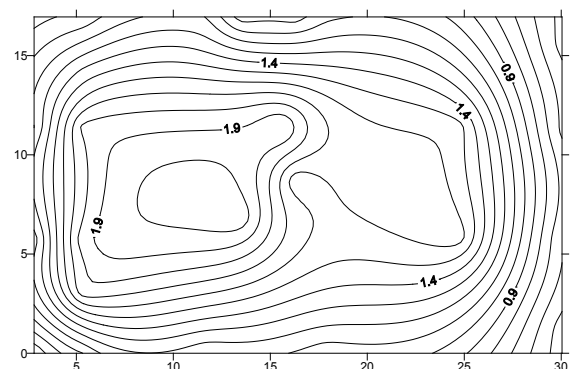
**Tabela 11. Valores de recalques instrumentados**

Pilar	Recalques Medidos em mm		
	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
P5	0,50	0,57	1,43
PG	0,54	0,93	1,51
PH	0,41	0,88	1,54
P10	0,46	0,93	1,40
P12	0,53	0,54	1,13
PJ	0,39	0,00	0,44
PK	0,44	1,44	1,34
P15	0,17	0,25	0,80
P14	0,58	1,69	2,08

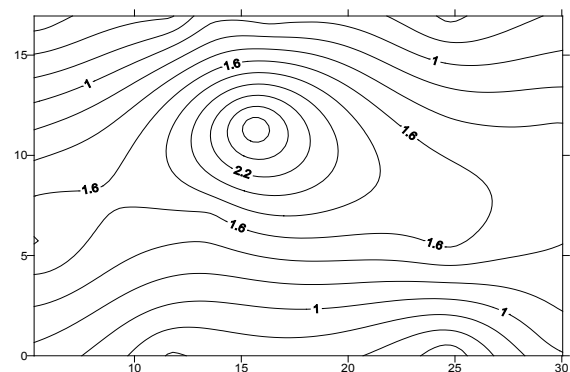
P13	0,55	1,45	1,85
P8A	0,94	2,78	3,99
P7A	0,70	2,17	3,08
P9	0,56	1,53	3,35
P6	0,52	0,57	1,25
P3	0,61	1,82	2,71
PM	0,43	1,15	0,57



**Figura 11. Modelo 2 / apoio rígido**



**Figura 12. Modelo 2 / apoio elástico**



**Figura 13. Modelo 2 / recalque medido**

### MODELO 3

As figuras 14 e 15 ilustram, para o modelo 3, as curvas de iso – recalques sem e com interação solo x estrutura (modelo de apoio rígido e elástico), correspondentes à última iteração. A Figura 16 apresenta a curva de iso – recalques correspondentes aos valores medidos pela instrumentação.

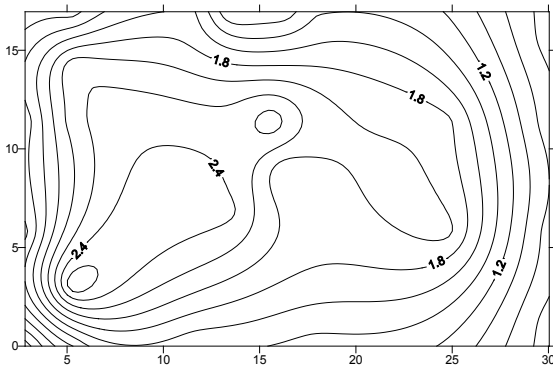


Figura 14. Modelo 3 / apoio rígido

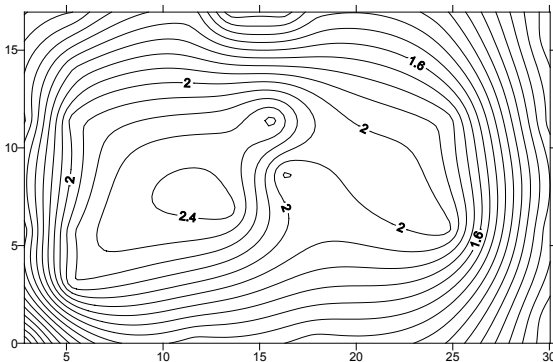


Figura 15. Modelo 3 / apoio elástico

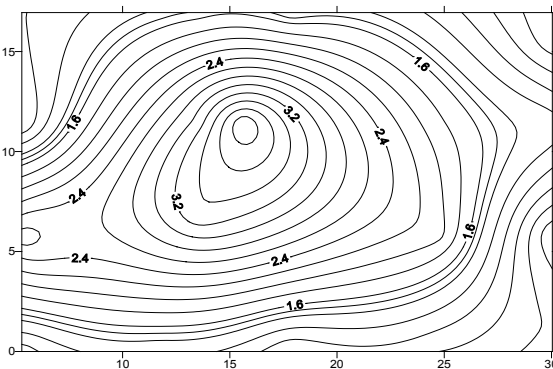


Figura 16. Modelo 3 / recalque medido

As Figuras 14 e 15 indicam que embora os recalques médios calculados sem e com interação solo x estrutura sejam equivalentes, a curva que inclui a interação apresenta menor variabilidade espacial nos valores de recalque, com uma maior tendência de uniformização dos mesmos. Os maiores recalques chegam a valores da ordem de 2,80 mm, sem interação, enquanto quando se contempla com o cálculo com a interação o recalque máximo é da ordem de 2,45 mm. Os menores recalques chegam a valores da ordem de 0,49 mm, sem interação, enquanto quando se contempla com o cálculo com a interação o recalque mínimo é da ordem de 0,50 mm. A Figura 16, dos recalques medidos, apresenta uma conformação em planta mais próxima da Figura 15, quando se considera a interação, o que já era esperado, como ressaltado anteriormente. Pode-se observar também que para os três modelos, o maior recalque medido ocorreu no Pilar P8A, que apesar de não ser o mais carregado, é um pilar central da obra, que recebe a influência do carregamento de vários pilares vizinhos.

### 8. COMPORTAMENTO EM TERMOS MÉDIOS

Apesar das diferenças encontradas, que sinalizam para uma maior uniformização de recalques na análise contemplando a interação, cabe ressaltar que as fundações em estacas tipo raiz, por absorverem as cargas basicamente por atrito lateral, apresentam recalques muito pequenos, o que ocasiona um menor efeito da interação solo x estrutura em relação a outras obras analisadas nesta linha de pesquisa, como Costa (2003), Rosa (2005), Silva (2005), entre outras.

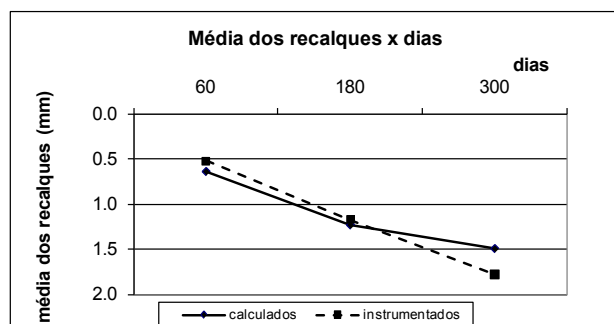
Os dados completos estão apresentados na Tabela 12. Cabe destacar que as análises deste item incluem apenas os 16 pilares que foram instrumentados.

**Tabela 12. Recalques Calculados e Medidos por Modelo (em mm)**

Pilar	Modelo1		Modelo 2		Modelo 3	
	calculado	medido	calculado	medido	calculado	medido
P5	0,62	0,50	1,20	0,57	1,53	1,43
PG	0,55	0,54	0,95	0,93	1,14	1,51
PH	0,53	0,41	0,95	0,88	1,15	1,54
P10	0,53	0,46	1,07	0,93	1,36	1,40
P12	0,47	0,53	0,96	0,54	1,20	1,13
PJ	0,34	0,39	0,46	0,00	0,51	0,44
P7A	0,86	0,70	1,90	2,17	2,26	3,08
P8A	0,84	0,94	2,01	2,78	2,45	3,99
P13	0,78	0,55	1,54	1,45	1,86	1,85
PK	0,43	0,44	0,58	1,44	0,66	1,34
P3	0,92	0,61	1,86	1,82	2,18	2,71
P9	1,06	0,56	2,07	1,53	2,44	3,35
P14	0,85	0,58	1,65	1,69	2,04	2,08
P6	0,65	0,52	1,11	0,57	1,44	1,25
P15	0,46	0,17	0,93	0,25	1,19	0,80
PM	0,32	0,43	0,45	1,15	0,50	0,57
Média	0,64	0,52	1,23	1,17	1,49	1,78
Des Pad	0,22	0,16	0,54	0,73	0,65	1,02
Coef Var	0,35	0,31	0,44	0,63	0,44	0,57

Na Fig. 17 são ilustradas as médias dos recalques instrumentados e calculados dos 16 pilares em que foram realizadas medições, para os três modelos. O 1º ponto do gráfico em linha cheia, (0,64mm), indica a média do recalque calculado para o modelo 1 (60 dias / obra na 2ª laje). O 2º ponto (1,23mm) é a média do recalque calculado para o modelo 2 (180 dias / obra na última laje e conclusão do reservatório de água) e o 3º ponto (1,49mm) é a média do recalque calculado para o modelo 3 (obra concluída e com as cargas de alvenaria). O 1º ponto do gráfico em linha tracejada, (0,52mm), indica a média do recalque instrumentado para o modelo 1 (60 dias / obra na 2ª laje), o 2º ponto (1,17mm) é a média do recalque instrumentado para o modelo 2 (180 dias / obra na última laje e conclusão do reservatório de água) e o 3º ponto (1,78mm) é a média do recalque ins-

trumentado para o modelo 3 (obra concluída e com as cargas de alvenaria).



**Figura 17. Média dos recalques em função do tempo (etapas construtivas)**

Na Figura 18 são indicados os desvios padrões dos recalques instrumentados e calculados dos 16 pilares para os 3 modelos citados anterior-



mente . O 1º ponto do gráfico em linha cheia (0,22mm) indica o desvio padrão do recalque calculado para o modelo 1 (60 dias / obra na 2ª laje), o 2º ponto (0,54mm) é o desvio padrão do recalque calculado para o modelo 2 (180 dias / obra na última laje e conclusão do reservatório de água) e o 3º ponto (0,65mm) é o desvio padrão do recalque calculado para o modelo 3 (obra concluída e com as cargas de alvenaria). O 1º ponto do gráfico em linha tracejada (0,16mm) indica o desvio padrão do recalque instrumentado para o modelo 1 (60 dias / obra na 2ª laje), o 2º ponto (0,73mm) é o desvio padrão do recalque instrumentado para o modelo 2 (180 dias / obra na última laje e conclusão do reservatório de água) e o 3º ponto (1,02mm) é o desvio padrão do recalque instrumentado para o modelo 3 (obra concluída e com as cargas de alvenaria).

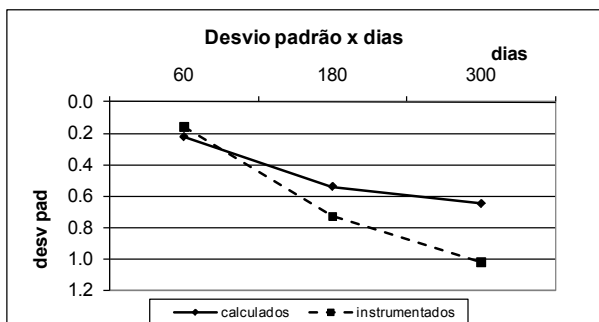


Figura 18. Desvio padrão dos recalques em função do tempo (etapas construtivas)

Nesta Figura 18, para a terceira etapa, o desvio padrão do recalque calculado aumentou de maneira mais suave do que os recalques medidos, o que não é usual, quando se compara com os demais casos de obra instrumentados anteriormente.

Na Figura 19 são indicados os coeficientes de variação dos recalques instrumentados e calculados dos 16 pilares para os 3 modelos citados anteriormente. O 1º ponto do gráfico em linha cheia (0,35) indica o coeficiente de variação do recalque calculado para o modelo 1 (60 dias / obra na 2ª laje), o 2º ponto (0,44) o coeficiente de variação do recalque calculado para o modelo 2 (180 dias / obra na última laje e conclusão do reservatório de água) e o 3º ponto (0,44) o coeficiente de variação do recalque calculado para o modelo 3 (obra concluída e com as cargas de alvenaria). O 1º ponto do gráfico em linha tracejada (0,31) indica o coeficiente de variação do recalque instrumentado para o modelo 1 (60 dias / obra na 2ª laje), o 2º

ponto (0,63) o coeficiente de variação do recalque instrumentado para o modelo 2 (180 dias / obra na última laje e conclusão do reservatório de água) e o 3º ponto (0,57) é o coeficiente de variação do recalque instrumentado para o modelo 3 (obra concluída e com as cargas de alvenaria).

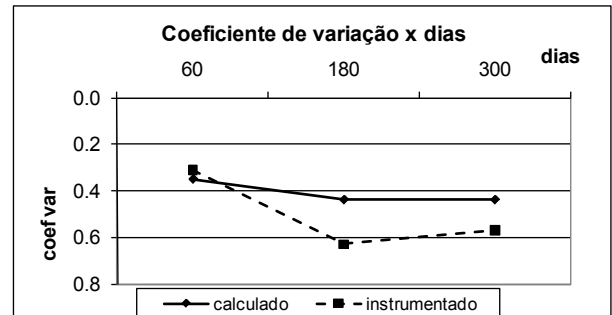


Figura 19. Coeficiente de variação dos recalques em função do tempo (etapas construtivas)

Os coeficientes de variação dos recalques medidos são superiores aos correspondentes dos recalques calculados, o que não é consistente com as pesquisas anteriores, reportadas em Costa (2003) e Silva (2005), por exemplo.

Isso pode ser atribuído ao fato de que os valores de recalques foram todos muito reduzidos. Desta forma, é provável que os valores instrumentados estejam afetados pela acurácia das medidas.

No gráfico da Figura 20 apresenta-se o percentual de pilares onde houve acréscimo e decréscimo de carga, quando se compara o modelo rígido com o elástico, para os pilares periféricos. No modelo 1, o gráfico mostra que houve acréscimo de carga em 53% dos pilares periféricos e decréscimo em 47%. No modelo 2, tem-se um acréscimo em 82% dos pilares periféricos e decréscimo em 18%. Um mesmo percentual foi encontrado para o modelo 3.

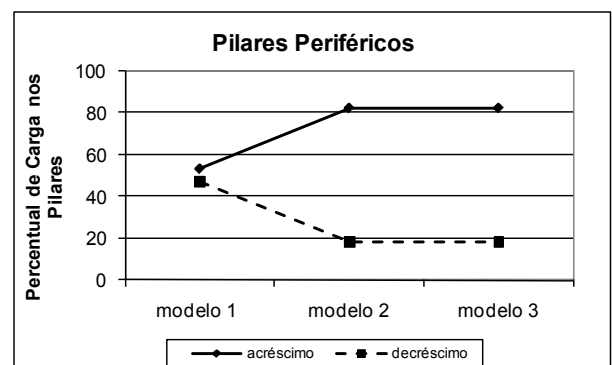


Figura 20. Variação de carga dos pilares periféricos

No gráfico da Figura 21 tem-se a variação de carga (acréscimo ou decréscimo) sofrida pelos pilares centrais. No modelo 1, o gráfico nos mostra um acréscimo de 50% e um decréscimo de 50%. No modelo 2 tem-se um acréscimo de 10% e um decréscimo de 90%. No modelo 3 tem-se um acréscimo de 30% e um decréscimo de 70%.

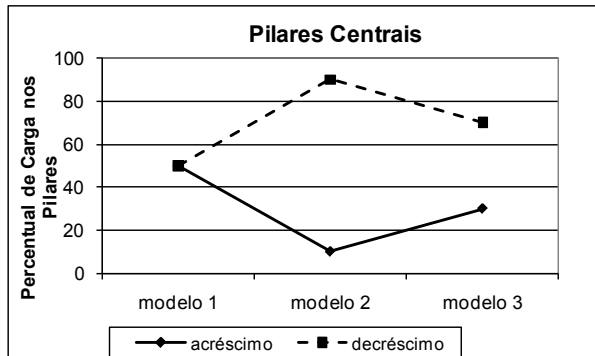


Figura 21. Variação de carga dos pilares centrais

Observa-se que nos pilares periféricos houve um maior número de pilares com acréscimo de carga com a interação solo x estrutura, enquanto nos pilares centrais houve um maior número de pilares com decréscimo de carga com a interação.

## 9. CONCLUSÕES

O artigo apresentou a análise de mais um caso de obra com recalques instrumentados desde o início da construção, estendendo-se o banco de dados existente com um tipo de fundação profunda ainda não contemplado em pesquisas anteriores, consistindo numa edificação em estacas tipo raiz em solo de natureza arenosa.

A seguir são listadas as principais conclusões das análises efetuadas:

i) Em relação ao ajuste do modelo do solo.

A média dos recalques medidos foi comparada à média dos recalques calculados contemplando os mesmos pilares instrumentados, procedendo-se vários ajustes do modelo de deformabilidade do solo, até que a média dos recalques medidos e calculados fossem bem próximos.

O valor da média dos recalques medidos foi bem próximo da média dos recalques calculados quando os módulos de deformabilidade originais do solo, calculados pela correlação de Decourt (1989), foram multiplicados por cerca de 3,6, o

que mostra que esta correlação foi conservativa para o caso em estudo.

Quando se empregou a correlação de Freitas (2010), embora fornecendo resultados ainda conservativos, os módulos de deformabilidade foram multiplicados por 2 para que houvesse a convergência entre os recalques calculados e os medidos.

ii) Quanto à estimativa dos recalques para os modelos 1 a 3.

Quando se compara a estimativa dos recalques da forma convencional, sem interação solo x estrutura, e da forma considerada mais consistente, com a interação solo x estrutura, observa-se que embora a média entre os recalques seja equivalente, o desvio padrão dos recalques calculados como apoio rígido, bem como o coeficiente de variação, é bem superior ao correspondente ao dos recalques calculados como apoio elástico. Tal fato foi observado mesmo na análise do modelo 1, que representa a estrutura apenas com a concretagem da segunda laje, indicando que este modelo já possui rigidez suficiente para a uniformização dos recalques, mesmo sendo estes bem pequenos.

iii) Quanto à interpretação em termos de uniformização dos recalques.

Um mesmo comportamento foi observado, para os 3 modelos, nas curvas de iso-recalques calculados sem interação, com interação e correspondentes aos recalques medidos. Embora os recalques médios calculados sem e com interação solo x estrutura sejam equivalentes, a curva que contempla a interação apresenta menor variabilidade espacial nos valores de recalque, com uma maior tendência de uniformização dos mesmos. As figuras correspondentes aos recalques calculados com a interação solo x estrutura apresentam uma conformação em planta mais próxima das curvas relativas aos recalques medidos.

Apesar das diferenças encontradas, que sinalizam para uma maior uniformização de recalques na análise contemplando a interação, cabe ressaltar que as fundações em estacas tipo raiz, por absorverem as cargas basicamente por atrito lateral, apresentam recalques muito pequenos, o que ocasiona um menor efeito da interação solo x estrutura em relação a outras obras analisadas nesta linha de pesquisa, como Costa (2003), Rosa (2005), Silva (2005), entre outras.

iv) Quanto à análise dos recalques em termos médios.

Na curva de recalques médios observou-se que os recalques medidos mostraram uma conformação indicativa de um módulo de deformabilidade decrescente com o nível de carregamento, o que não foi revelado na curva dos recalques calculados, embora com valores médios muito próximos. Esta constatação pode ser atribuída ao fato da teoria da elasticidade ser um modelo aproximado do comportamento dos solos arenosos, que devem exibir uma parcela de aumento do recalque com o tempo, para uma mesma carga, ou seja, uma parcela de fluência.

Os coeficientes de variação dos recalques medidos foram superiores aos correspondentes dos recalques calculados, o que não é consistente com as pesquisas anteriores, reportadas em Costa (2003) e Silva (2005), por exemplo.

Isso pode ser atribuído ao fato de que os valores de recalques foram todos muito reduzidos. Desta forma, é provável que os valores instrumentados estejam afetados pela acurácia das medidas.

v) Quanto à redistribuição das cargas.

Foram comparadas as cargas calculadas com apoio rígido e com apoio elástico (última iteração) para os 3 modelos e confrontados os resultados das diferenças nas cargas (redistribuição) ocorrida por efeito do cálculo com a interação solo x estrutura (apoio elástico). No caso do apoio rígido, os recalques são sempre nulos, não ocorrendo, assim, a interação.

Para os pilares periféricos os resultados indicam que no modelo 1 houve acréscimo de carga em 53% dos pilares periféricos e decréscimo em 47%, quando considerada a interação. No modelo 2 verificou-se um acréscimo em 82% dos pilares periféricos e decréscimo em 18%. Um mesmo percentual foi encontrado para o modelo 3.

Em relação aos pilares centrais observou-se um acréscimo de 50% e um decréscimo de 50% no modelo 1; no modelo 2 houve um acréscimo de 10% dos pilares e decréscimo em 90%; no modelo 3, houve um acréscimo em 30% dos pilares e um decréscimo em 70%.

Observa-se que apesar da pequena grandeza dos recalques, nos pilares periféricos houve um maior número de pilares com acréscimo de carga com a interação solo x estrutura, enquanto

nos pilares centrais houve um maior número de pilares com decréscimo da carga quando se considerou a interação.

## AGRADECIMENTOS

À Construtora Ben, pela autorização dos dados instrumentados e aos técnicos e pesquisadores da COPPE/UFRJ, pela parceria nesta linha de pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AOKI, N., LOPES, F.R. (1975). Estimating Stresses and Settlement Due to Deep Foundations by the Theory of Elasticity, Proceedings, 5th. Pan American CSMFE, vol.1, pp.377-386, Buenos Aires.

ARAÚJO, C.R. S. (2010). Estudo de Caso de Obra Considerando a Interação Solo x Estrutura. Dissertação de MSc, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ.

BELINCANTA, A. (1985). Energia Dinâmica no SPT: Resultados de uma Investigação Teórico-Experimental. Dissertação de M.Sc., EPUSP, São Paulo, SP.

BELINCANTA, A. (1998). Avaliação de fatores intervenientes no índice de resistência à penetração do SPT. Tese de DSc, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.

CAVALCANTE, E. (2002). Investigação teórico-experimental do SPT. Tese de D.Sc, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

COSTA, R. V. (2003). Interação Solo-Estrutura. Estudo de Casos de Obra Envolvendo o Monitoramento dos Recalques desde o Início da Construção, Dissertação M.Sc., Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ.

DANZIGER, B.R, DANZIGER, F.A e CRISPEL, F.A. (2000). A Medida dos Recalques desde o Início da Construção como um Controle de Qualidade das Fundações. Vol.I, SEFE IV, pp.191-202, São Carlos.

DECOURT, L. (1989). The Standard Penetration Test – State of Art Report: In: In: XII IC-SMFE, vol. 4, Rio de Janeiro.

FREITAS, A. C. (2010). Contribuição ao Estudo do Efeito Tridimensional de Instalação e de Grupo em Estacas Cravadas em Areias. Dissertação de M. Sc., UERJ, RJ.

GUSMÃO, A.D., (1990). Estudo da Interação Solo-Estrutura e sua Influência em Recalques de Edificações, Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

ODEBRECHT, E. 2003. Medidas de energia no ensaio do SPT. Tese de D.Sc., UFRGS, Porto Alegre; 2003.

PEC-682-ne4 (2005) Medidas de Recalques. Relatório COPPETEC.

REIS, J.H.C. (2000). Interação Solo-Estrutura de Grupo de Edifícios com Fundações Superficiais em Argila Mole. Tese de M.Sc., São Carlos/USP, São Paulo, SP, Brasil.

ROSA, L. M. P. (2005) Interação Solo-Estrutura. Análise de um Caso de Obra Envolvendo Danos Estruturais, Dissertação M.Sc., Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, Brasil.

SILVA, M. K. (2005). Interação Solo-Estrutura. Uma Contribuição à Interpretação dos Registros Experimentais, Dissertação M.Sc., Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ.