*XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica*
*XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens*
*24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF*
**DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.5/2**

# A Influência dos Recalques das Fundações na Redistribuição de Momentos Fletores de Vigas de um Edifício

Juliane Cristina Gonçalves
Professora, Faculdade de Engenharia, UFJF, Juiz de Fora, Brasil, juliane.goncalves@ufjf.br

Paulo Eduardo Lima de Santa Maria
Professor, SM Engenheiros Consultores, Rio de Janeiro, Brasil, paulosm@smengenheiros.com.br

Fernando Artur Brasil Danziger
Professor, COPPE e Escola Politécnica, UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, danziger@coc.ufrj.br

RESUMO: Os recalques das fundações promovem uma redistribuição de solicitações nos elementos estruturais de uma edificação. Sabe-se que as cintas e as vigas dos pavimentos inferiores são as peças mais afetadas pelos recalques, além dos pilares. É nesse contexto que se insere o presente artigo, o qual tem como objetivo avaliar a influência dos recalques das fundações na redistribuição de momentos fletores das vigas dos primeiros pavimentos de um edifício em fundações profundas. Esse edifício, localizado no município de Teresópolis, sofreu recalques significativos das fundações. Houve monitoramento dos recalques durante e após o reforço das fundações. Para o desenvolvimento do estudo são comparadas as situações da estrutura modelada em elementos finitos com apoios indeslocáveis (situação comum de ser considerada na época do desenvolvimento do empreendimento – ano 2000) e estrutura com recalques medidos impostos nos apoios. De fato, observa-se uma redistribuição de momentos fletores nas vigas dos primeiros pavimentos inclusive ocorrendo mudança de sinal em algumas seções. Esse é um aspecto relevante no projeto porque pode-se incorrer em erro no dimensionamento e detalhamento das vigas caso não se leve em conta os recalques.

PALAVRAS-CHAVE: Recalques, Fundações, Momentos Fletores, Vigas.

ABSTRACT: Foundation settlements cause a redistribution of internal forces in the structural elements of a building. It is well known that tie beams and the beams of the lower floors, in addition to the columns, are the most affected components by these settlements. In this context, the present paper aims to evaluate the influence of foundation settlements on the redistribution of bending moments in the beams of the first floors of a building on deep foundations. This building, located in the municipality of Teresópolis, experienced significant foundation settlements. Settlements were monitored during and after the foundation underpinning. Two situations are compared: (i) the structure modelled using the finite element method with fixed supports (a common assumption at the time the building was designed – 2000), and (ii) the structure with the measured settlements imposed on the supports. Indeed, a redistribution of bending moments is observed in the beams of the first floors, including sign changes in some sections. This is a relevant aspect in design, as neglecting settlements may lead to errors in the sizing and detailing of the beams.

KEYWORDS: Settlements, Foundation, Bending Moments, Beams.

## 1 INTRODUÇÃO

O comportamento estrutural de edificações resulta da interação entre a superestrutura, as fundações e o maciço de apoio. Os recalques das fundações são reconhecidos na engenharia geotécnica como fatores determinantes no desempenho global das estruturas (Meyerhof, 1953; Poulos & Davis, 1980). Dependendo da magnitude dos recalques e da rigidez da estrutura, observa-se uma redistribuição de esforços solicitantes internos nos elementos estruturais como, por exemplo, esforços normais e momentos fletores nos pilares e momentos fletores nas vigas, particularmente, do cintamento e vigas dos primeiros pavimentos.

Chamecki (1954) em um trabalho pioneiro, no Brasil, propôs uma marcha de cálculo sistematizada para análise da interação solo-estrutura. Através de um processo iterativo com a consideração da rigidez da estrutura e uso de expressões estabelecidas constatou que os recalques diferenciais passavam a ser menos acentuados quando se considerava a rigidez da estrutura no cálculo, o que se ajusta aos resultados das medições em estruturas reais.

Gusmão (1990) corroborou os estudos de interação solo-estrutura obtendo resultados importantes em casos reais e Gusmão Filho (1998) destacou que os recalques diferenciais promovem uma redistribuição de solicitações na estrutura, afetando não apenas os pilares, mas também as vigas, que passam a estar submetidas a esforços adicionais, especialmente nos pavimentos inferiores.

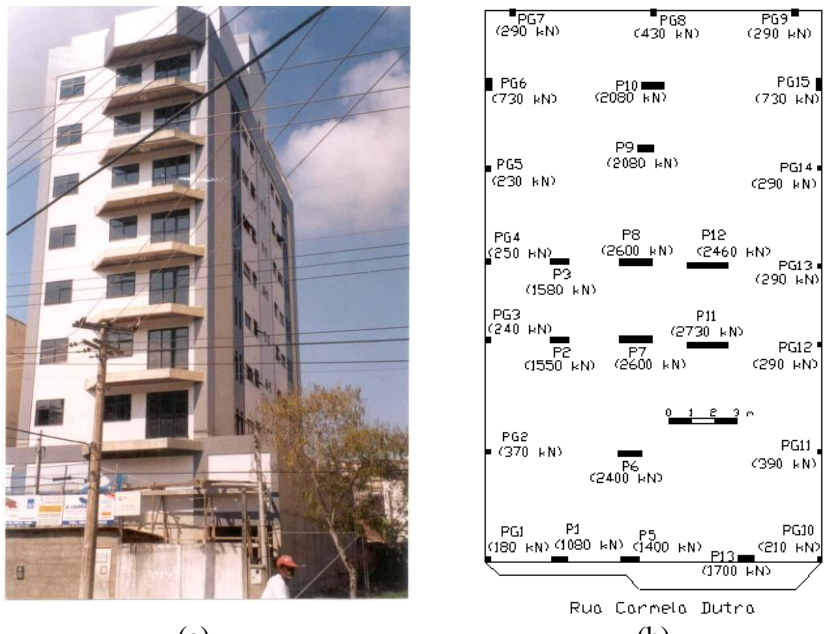
Mais recentemente, pesquisadores como, por exemplo, Gonçalves (2010), Gonçalves *et al*. (2012), Rosa *et al*. (2018) e Alexandre (2023) consideraram o efeito do tempo em suas análises de interação solo-estrutura.

Do ponto de vista normativo, a NBR 6122 (2022) estabelece a necessidade de verificação dos recalques admissíveis e de sua influência na segurança, estabilidade e funcionalidade das edificações. De forma complementar, a NBR 6118 (2023) admite a redistribuição de momentos fletores em estruturas de concreto armado, desde que respeitados os limites associados à ductibilidade e à capacidade resistente dos elementos estruturais. Assim, evidencia-se a interdependência entre os fenômenos geotécnicos e os critérios estruturais normativos.

Nesse contexto, o presente artigo tem como objetivo avaliar a influência dos recalques das fundações na redistribuição, particularmente, de momentos fletores das vigas dos primeiros pavimentos de um edifício em fundações profundas. Busca-se, dessa maneira, contribuir para o aprimoramento das análises estruturais, alinhando-as aos princípios estabelecidos na literatura clássica e às recomendações das normas técnicas vigentes.

## 2 CARACTERÍSTICAS DO EDIFÍCIO E SUAS FUNDAÇÕES

O edifício em estudo localiza-se na rua Carmela Dutra, no município de Teresópolis, no estado do Rio de Janeiro. Trata-se de um prédio residencial em concreto armado com 10 pavimentos, sendo 7 pavimentos tipo e 3 de uso comum. A figura 1 (a) ilustra o aspecto da edificação (Danziger *et al*., 2006) e a figura 1 (b) mostra um croqui com a locação dos pilares e suas cargas, calculadas sem a consideração da existência de recalques.




(a) (b)

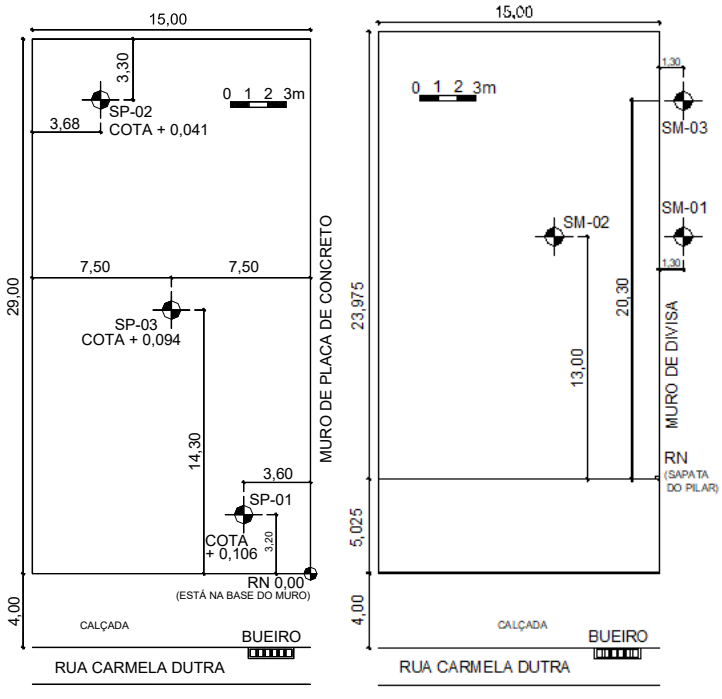
Figura 1. (a) Vista da edificação (Danziger *et al*., 2006) e (b) croqui com a locação dos pilares e cargas de projeto da edificação.

O edifício possui 27 pilares chegando ao nível da fundação, com solicitações variando entre 180 kN e 2730 kN. As menores solicitações referem-se à contribuição apenas dos pavimentos inferiores de uso comum, enquanto as mais elevadas são relativas à lâmina.

As fundações (antes do reforço) são em estacas pré-moldadas, de seção quadrada, com lados de 16 cm, 18 cm, 20 cm, 22 cm e 24 cm. As profundidades atingidas pelas estacas variam entre 4,7 m e 8,2 m.

## 3 CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DO TERRENO

Foram executadas seis sondagens, sendo três à percussão (figura 2 (a)) e, posteriormente, três sondagens mistas (percussão e rotativa) (figura 2 (b)). Observa-se a partir das figuras 3, 4a e 4b, que as sondagens indicam uma camada superficial de predominância argilosa, com espessura da ordem de 1,0 m a 1,5 m, em duas sondagens classificadas como aterro, sobrejacente a um pacote argiloso mole, atingindo profundidades entre 2,7 m e 6,0 m. Subjacente ao pacote mole, encontram-se camadas de predominância arenosa, até o solo residual. No caso da SP-1, as camadas arenosas não ocorrem. O solo residual é encontrado entre as profundidades de 6,0 m e 8,2 m. O que seria carecterizado como impenetrável ao trépano varia entre as profundidades de 7,7 m e 10,2 m.




(a) (b)

Figura 2. (a) Planta de locação das sondagens iniciais e (b) planta de locação das sondagens mistas realizadas posteriormente.

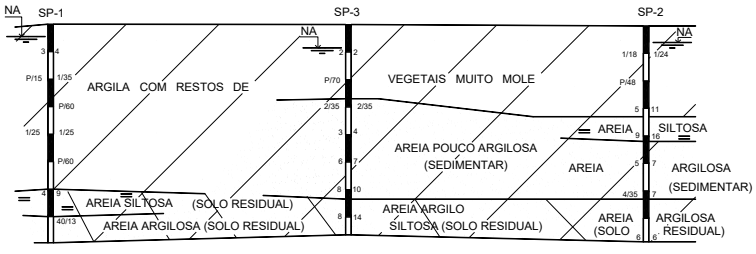
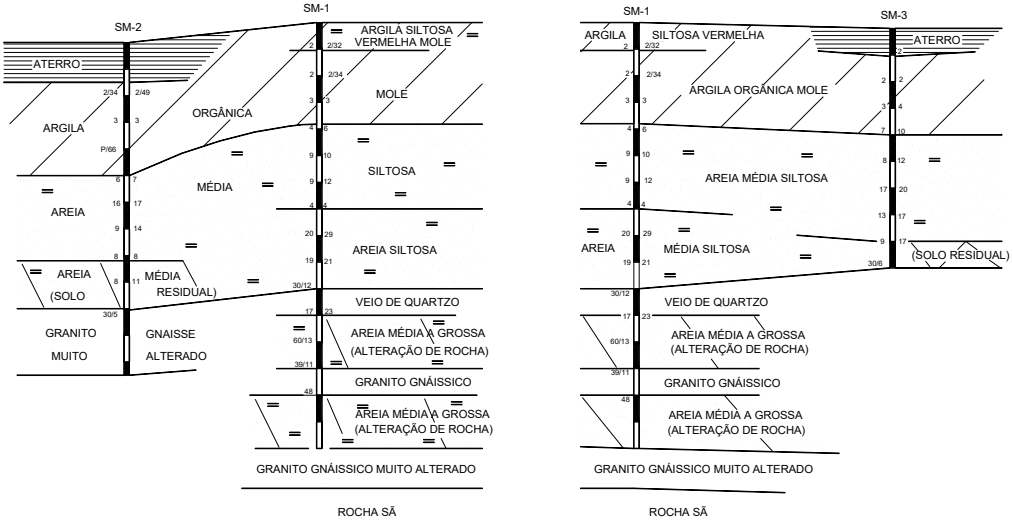



Figura 3. Perfil geotécnico ao longo de SP-1, SP-3 e SP-2.




(a) (b)

Figura 4. (a) Perfil geotécnico ao longo de SM-2 e SM-1 e (b) perfil geotécnico ao longo de SM-1 e SM-3.

## 4 O PROBLEMA VERIFICADO NA EDIFICAÇÃO

Danziger (2003) apresentou um parecer sobre as fundações desta edificação com a finalidade de esclarecer as possíveis causas do desaprumo medido, da ordem de 8 cm (em 19 de junho de 2003), tomado desde o topo do prédio até o piso da garagem do primeiro pavimento. Este desaprumo é conseqüência de recalques significativos, embora não tenham sido verificadas trincas na edificação.

Foram indicadas três possíveis causas do problema. Primeiramente, as relacionadas ao projeto ou execução da estrutura. Em segundo lugar, as relativas às investigações geotécnicas, no caso analisado, as sondagens; e, por último, as concernentes ao projeto e à execução das fundações, ou seja, às estacas pré-moldadas.

A partir de uma retroanálise dos registros de cravação, foi constatada uma situação de insuficiência de comprimento das estacas ocasionada pela incapacidade do equipamento de cravação de levar as estacas à profundidade necessária, sem comprometer sua integridade estrutural (Danziger *et al*., 2006).

## 5 MEDIDAS DE RECALQUES

Este edifício teve seus recalques medidos de 2003 até 2005, após a verificação do problema mencionado. Para tanto, foram instalados em alguns pilares no pavimento de acesso, a uma altura de cerca de 1 m do piso, pinos de aço inoxidável que foram usados como referências para os deslocamentos das fundações.

Apesar da situação ideal para uma referência fixa ser a execução de um bench-mark, isto é, uma referência de nível profunda, os custos correspondentes são elevados e por essa razão optou-se pela instalação de dois pinos semi-esféricos em estruturas adjacentes.

Foram empregados níveis Wild NA2 com micrômetro de placa paralela Wild GPM3 e Wild NA3. As miras de ínvar usadas, de 1 m e 2 m de comprimento, são também da Wild. O procedimento de medição dos recalques consiste em se nivelar os pinos dos pilares em relação às referências externas.

A tabela 1 e a figura 5 mostram os resultados dos recalques medidos ao longo do tempo. Nota-se que os valores medidos foram significativos, atingindo o valor médio de 1,2 cm na medição de 24/02/2005. Nota-se, ainda, uma variação de comportamento dos recalques medidos entre as datas 09/10/2003 e 23/10/2003. Esta variação de comportamento está ligada à execução do reforço das fundações neste período.

Tabela 1. Recalques medidos ao longo do tempo.

| Pilar | Recalques medidos (cm) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 30/07/2003 | 22/08/2003 | 23/09/2003 | 09/10/2003 | 17/10/2003 | 23/10/2003 | 22/03/2004 | 26/04/2004 | 09/06/2004 | 04/11/2004 | 24/02/2005 |
| PG10 | 0 | 0,237 | 0,627 | 1,212 | 1,165 | 1,620 | 1,934 | 2,037 | 2,456 | 2,512 | 2,714 |
| P13 | 0 | 0,186 | 0,532 | 1,065 | 1,002 | 1,405 | 1,639 | 1,702 | - | 1,844 | 1,808 |
| P5 | 0 | 0,178 | 0,373 | 0,756 | 0,709 | 1,064 | 1,334 | 1,389 | 1,553 | 1,388 | 1,517 |
| P1 | 0 | 0,105 | 0,241 | 0,555 | 0,500 | 0,799 | 1,087 | 1,111 | 1,327 | 1,272 | 1,566 |
| PG1 | 0 | 0,032 | 0,108 | - | 0,203 | 0,390 | 0,678 | 0,716 | 0,927 | 0,707 | 0,891 |
| PG2 | 0 | 0,068 | 0,123 | 0,256 | 0,172 | 0,302 | 0,505 | 0,545 | 0,845 | - | - |
| PG3 | 0 | 0,036 | 0,013 | - | 0,052 | 0,169 | 0,276 | 0,360 | 0,491 | 0,282 | 0,386 |
| PG6 | 0 | 0,011 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| P10 | 0 | 0,166 | 0,120 | 0,309 | 0,216 | 0,285 | 0,355 | 0,399 | 0,475 | 0,321 | 0,451 |
| P8 | 0 | 0,070 | 0,096 | 0,377 | 0,285 | 0,450 | 0,454 | - | - | - | - |
| P12 | 0 | 0,189 | 0,299 | 0,725 | 0,617 | 0,806 | 0,873 | 0,939 | - | 0,785 | 0,955 |
| P11 | 0 | 0,218 | 0,363 | 0,815 | 0,646 | 0,854 | 0,967 | 1,061 | 1,134 | 1,018 | - |
| P7 | 0 | 0,108 | 0,186 | 0,504 | 0,435 | 0,640 | 0,817 | 0,876 | - | 0,995 | 0,874 |
| PG11 | 0 | 0,271 | 0,607 | 1,034 | 0,989 | 1,444 | 1,801 | 1,861 | 2,103 | 2,149 | - |
| PG12 | 0 | 0,199 | 0,391 | - | 0,771 | 1,168 | 1,432 | - | - | - | - |
| PG13 | 0 | 0,232 | 0,493 | 0,875 | 0,833 | 1,199 | 1,428 | 1,496 | - | - | - |
| PG14 | 0 | 0,225 | 0,302 | 0,616 | 0,551 | 0,883 | 1,041 | 1,108 | 1,196 | 1,033 | 1,279 |
| PG15 | 0 | 0,254 | 0,343 | 0,579 | 0,523 | 0,840 | 0,930 | 0,981 | 1,065 | 0,898 | 1,065 |
| P2 | 0 | - | 0,314 | - | 0,418 | 0,575 | 0,824 | 0,845 | 1,018 | 0,760 | 0,721 |
| P6 | 0 | 0,124 | 0,295 | 0,648 | 0,586 | 0,865 | 1,244 | - | - | 1,342 | 1,431 |
| Média | 0 | 0,153 | 0,307 | 0,688 | 0,562 | 0,829 | 1,033 | 1,089 | 1,216 | 1,154 | 1,204 |
| Tempo (dia) | 0 | 23 | 55 | 71 | 79 | 85 | 237 | 272 | 377 | 464 | 576 |

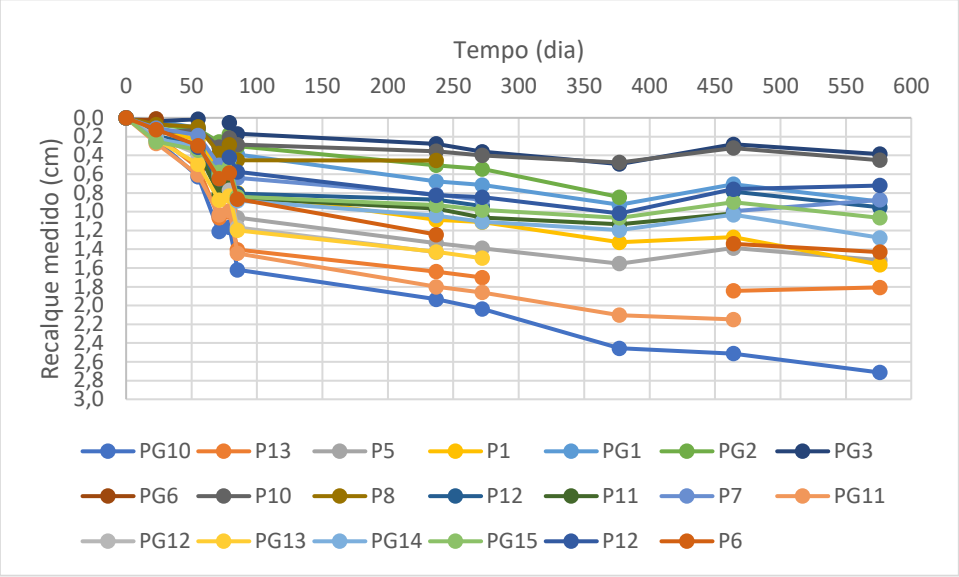



Figura 5. Recalques medidos ao longo do tempo.

## 6 MODELAGEM DA ESTRUTURA

A estutura foi discretizada em elementos finitos usando-se o programa comercial de análise estrutural SAP2000 (Versão 11). As vigas e os pilares foram discretizados usando-se elementos de barra. Para as lajes foram usados elementos de placa.

Na discretização da estrutura, foram considerados os seguintes pesos específicos dos materiais: concreto - $\gamma \approx 25$ kN/m³; alvenaria - $\gamma \approx 16$ kN/m³ e revestimento - $\gamma \approx 19$ kN/m³. Foi adotado, de acordo com Nunes (2005), um módulo de elasticidade inicial, aos 28 dias, de 25 GPa. Usou-se 0,6 kN/m² para o revestimento das lajes. As sobrecargas adotadas foram de 1,5 kN/m² para as lajes com mais de 12 m² e 2,0 kN/m² para lajes com menos de 12 m², segundo a NBR6120 (2019).

Para as fundações foram admitidas as situações de apoios indeslocáveis e, posteriormente, os recalques medidos foram impostos nos apoios.

A figura 6 ilustra o modelo tridimensional em elementos finitos (Gonçalves, 2010).

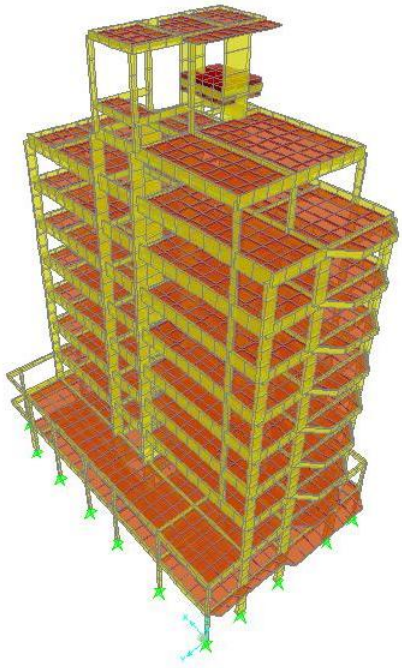


Figura 6. Modelo numérico da edificação (Gonçalves, 2010).

## 7 MOMENTOS FLETORES NAS VIGAS

A Tabela 2 apresenta, para o primeiro e o segundo pavimentos, os valores dos momentos fletores nas situações de apoios indeslocáveis e de apoios submetidos a recalques, considerando algumas vigas selecionadas. Os momentos fletores que apresentam mudança de sinal com a imposição dos recalques estão destacados em cor cinza. A tabela também indica a variação percentual dos momentos fletores entre a situação de apoios indeslocáveis e a de recalques impostos. Esta variação percentual é calculada tomando-se como referência o valor absoluto do momento inicial, de modo a permitir a comparação entre valores de sinais opostos. Além disso, são apresentadas as áreas calculadas de armadura negativa e positiva, bem como os respectivos números de barras necessárias, considerando barras de aço CA-50 com diâmetro de 16 mm.

A análise dos resultados obtidos evidencia que a consideração de recalques nos apoios exerce influência significativa sobre a distribuição dos momentos fletores nas vigas analisadas, quando comparada à hipótese de apoios indeslocáveis. Observam-se alterações relevantes tanto na magnitude quanto no sinal dos esforços internos, indicando modificações no comportamento estrutural do sistema.

Verifica-se, em diversos trechos, a ocorrência de mudança de sinal dos momentos fletores após a imposição dos recalques. Tal comportamento mostra uma redistribuição dos esforços internos, típica de estruturas hiperestáticas submetidas a deslocamentos impostos nos apoios. Essa inversão de sinal implica a alteração das regiões tracionadas das seções transversais, com potenciais impactos no dimensionamento e detalhamento das armaduras longitudinais.

Além das inversões de sinal, os resultados indicam variações percentuais expressivas entre as situações analisadas, inclusive em casos nos quais os valores absolutos dos momentos fletores iniciais eram reduzidos. Esse aspecto ressalta a necessidade de uma análise criteriosa das variações percentuais, que deve ser realizada em conjunto com a avaliação das magnitudes dos esforços, a fim de evitar interpretações distorcidas quanto à relevância estrutural dos resultados.

Constata-se, ainda, que os efeitos dos recalques não se distribuem de forma uniforme ao longo da estrutura. Algumas vigas e apoios apresentam variações pouco significativas, enquanto outros concentram alterações substanciais nos momentos fletores. Esse comportamento está associado à rigidez relativa dos elementos estruturais, à continuidade do sistema e à interação entre os elementos da superestrutura e as fundações.

Tabela 2. Valores de momentos fletores nas vigas do primeiro e segundo pavimentos.

| Situação do apoio | Valor de momento fletor no apoio (kNm) | | | | | | | Seção de maior mom. pos. no vão (kNm) | As, neg. (cm²) | Nº de barras necessárias (ϕ de 16 mm) | As, pos. (cm²) | Nº de barras necessárias (ϕ de 16 mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1º Pavimento** | | | | | | | | | | | | |
| Viga 1 (0,15 m x 0,50 m) | | | | | | | | | | | | |
| | **PG1** | **P1** | **P5** | **P13** | **PG10** | | | | | | | |
| **Apoios indeslocáveis** | -0,6 | -23,6 | -28,5 | -61,8 | -4,1 | | | 27,4 | 5 | 3 | 2 | 1 |
| **Recalques impostos** | -16,8 | 30,3 | -92,3 | -84,5 | 19,5 | | | 41,2 | 7 | 4 | 3 | 2 |
| **Δ (%)** | 96 | 22 | 69 | 27 | 79 | | | 33 | | | | |
| Viga 2 (0,25 m x 0,50 m) | | | | | | | | | | | | |
| | **PG2** | **P6** | **PG11** | | | | | | | | | |
| **Apoios indeslocáveis** | -14,4 | -133,0 | -26,2 | | | | | 98,7 | 11 | 6 | 8 | 4 |
| **Recalques impostos** | -4,30 | -154,7 | -13,4 | | | | | 83,7 | 13 | 7 | 7 | 4 |
| **Δ (%)** | -235 | 14 | -96 | | | | | -18 | | | | |
| Viga 3 (0,20 m x 0,40 m) | | | | | | | | | | | | |
| | **PG3** | **P2** | **P7** | **P11** | **PG12** | | | | | | | |
| **Apoios indeslocáveis** | 2,4 | -24 | -12,9 | -86,7 | -14,3 | | | 37,0 | 10 | 5 | 4 | 2 |
| **Recalques impostos** | -0,5 | -19,1 | -55,8 | -188,8 | 20,7 | | | 34,3 | * | | 3 | 2 |
| **Δ (%)** | -380 | -26 | 77 | 54 | 31 | | | -8 | | | | |
| Viga 4 (0,15 m x 0,50 m) | | | | | | | | | | | | |
| | **PG7** | **PG8** | **PG9** | | | | | | | | | |
| **Apoios indeslocáveis** | -42,3 | 0,5 | -54,7 | | | | | 94,8 | 4 | 3 | 8 | 4 |
| **Recalques impostos** | -0,3 | 1,2 | -52,0 | | | | | 93,7 | 4 | 3 | 8 | 4 |
| **Δ (%)** | -14000 | 58 | -5 | | | | | -1 | | | | |
| Viga 5 (0,15 m x 0,50 m) | | | | | | | | | | | | |
| | **PG1** | **PG2** | **PG3** | **PG4** | **PG5** | **PG6** | | | | | | |
| **Apoios indeslocáveis** | -13,1 | -69,2 | -45,7 | -31,5 | -54,0 | -62,8 | | 52,9 | 6 | 3 | 4 | 3 |
| **Recalques impostos** | -31,4 | -15,6 | -127,6 | 26,3 | -7,1 | -171,4 | | 60,5 | 12 | 7 | 5 | 3 |
| **Δ (%)** | 58 | -344 | 64 | -20 | -661 | 63 | | 13 | | | | |
| Viga 6 (0,20 m x 0,50 m) | | | | | | | | | | | | |
| | **P2** | **P3** | | | | | | | | | | |
| **Apoios indeslocáveis** | -11,4 | -75,3 | | | | | | 39,9 | 6 | 3 | 3 | 2 |
| **Recalques impostos** | -60,5 | -18,2 | | | | | | 64,1 | 5 | 3 | 5 | 3 |
| **Δ (%)** | 81 | -314 | | | | | | 38 | | | | |
| Viga 7 (0,20 m x 0,50 m) | | | | | | | | | | | | |
| | **P5** | **P6** | **P7** | **P8** | **P9** | **P10** | **PG8** | | | | | |
| **Apoios indeslocáveis** | -14,8 | -59,6 | -41,0 | -33,0 | -57,4 | -30,5 | 0,5 | 40,0 | 5 | 3 | 3 | 2 |
| **Recalques impostos** | -29,7 | -38,6 | -63,4 | -84,5 | 77,3 | -147,2 | 11,6 | 83,0 | 13 | 7 | 7 | 4 |
| **Δ (%)** | 50 | -54 | 35 | 61 | 26 | 79 | 96 | 52 | | | | |
| Viga 8 (0,15 m x 0,50 m) | | | | | | | | | | | | |
| | **PG10** | **PG11** | **PG12** | **PG13** | **PG14** | **PG15** | | | | | | |
| **Apoios indeslocáveis** | -14,4 | -71,1 | -46,0 | -30,8 | -67,0 | -5,8 | | 42,4 | 6 | 3 | 3 | 2 |
| **Recalques impostos** | -20,1 | -98,2 | -9,0 | 17,6 | -146,7 | 10,1 | | 49,3 | 16 | 8 | 4 | 2 |
| **Δ (%)** | 28 | 28 | -411 | -75 | 54 | 43 | | 14 | | | | |
| **2º Pavimento** | | | | | | | | | | | | |
| Viga 9 (0,15 m x 0,50 m) | | | | | | | | | | | | |
| | **PG1** | **P1** | **P5** | **P13** | **PG10** | | | | | | | |
| **Apoios indeslocáveis** | -1,4 | -6,0 | -21,3 | -49,2 | -5,6 | | | 25,9 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| **Recalques impostos** | -13,4 | 55 | -77,5 | -71,3 | 13,2 | | | 45,0 | 6 | 2 | 3 | 2 |
| **Δ (%)** | 90 | 89 | 73 | 31 | 58 | | | 42 | | | | |
| Viga 10 (0,25 m x 0,50 m) | | | | | | | | | | | | |
| | **PG2** | **P6** | **PG11** | | | | | | | | | |
| **Apoios indeslocáveis** | -8,8 | -116,6 | -12,4 | | | | | 89,0 | 10 | 6 | 7 | 4 |
| **Recalques impostos** | 0,40 | -144,7 | 12,5 | | | | | 47,5 | 12 | 7 | 4 | 2 |
| **Δ (%)** | -2100 | 19 | 1 | | | | | -87 | | | | |
| Viga 11 (0,20 m x 0,40 m) | | | | | | | | | | | | |
| | **PG3** | **P2** | **P7** | **P11** | **PG12** | | | | | | | |
| **Apoios indeslocáveis** | -2,3 | -10,6 | -7,4 | -20,6 | -8,8 | | | 48,0 | 2 | 1 | 5 | 3 |
| **Recalques impostos** | 4,0 | 3,8 | -55,0 | -162,3 | 2,2 | | | -17,5 | * | | 2 | 1 |
| **Δ (%)** | 43 | -179 | 87 | 87 | -300 | | | -174 | | | | |
| Viga 12 (0,15 m x 0,50 m) | | | | | | | | | | | | |
| | **PG7** | **PG8** | **PG9** | | | | | | | | | |
| **Apoios indeslocáveis** | -14,6 | -28,0 | -15,7 | | | | | 21,0 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| **Recalques impostos** | 10,5 | -0,3 | -12,0 | | | | | 21,4 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| **Δ (%)** | -39 | -9233 | -31 | | | | | 2 | | | | |
| Viga 13 (0,15 m x 0,50 m) | | | | | | | | | | | | |
| | **PG1** | **PG2** | **PG3** | **PG4** | **PG5** | **PG6** | | | | | | |
| **Apoios indeslocáveis** | -8,6 | -28,5 | -21,9 | -15,9 | -18,6 | -9,5 | | 18,5 | 2 | 3 | 1 | 1 |
| **Recalques impostos** | -18,7 | -1,2 | -63,7 | 16,3 | 3,1 | -52,0 | | 29,4 | 6 | 7 | 2 | 2 |
| **Δ (%)** | 54 | -2275 | 66 | 2 | -500 | 82 | | 37 | | | | |
| Viga 14 (0,20 m x 0,50 m) | | | | | | | | | | | | |
| | **P2** | **P3** | | | | | | | | | | |
| **Apoios indeslocáveis** | -52,5 | -66,3 | | | | | | 47,8 | 5 | 3 | 6 | 3 |
| **Recalques impostos** | -122,2 | 24,5 | | | | | | 79,6 | 11 | 6 | 6 | 3 |
| **Δ (%)** | 57 | -171 | | | | | | 40 | | | | |
| Viga 15 (0,20 m x 0,50 m) | | | | | | | | | | | | |
| | **P5** | **P6** | **P7** | **P8** | **P9** | **P10** | **PG8** | | | | | |
| **Apoios indeslocáveis** | -17,2 | -53,3 | -46,7 | -31,0 | -53,5 | 14,0 | 0,1 | 40,5 | 4 | 3 | 3 | 2 |
| **Recalques impostos** | 39,5 | 2,7 | -82,9 | -114,9 | 110,6 | -168,5 | 0,3 | 97,7 | 16 | 7 | 8 | 4 |
| **Δ (%)** | 56 | -1874 | 44 | 73 | 52 | 92 | 67 | 59 | | | | |
| Viga 16 (0,15 m x 0,50 m) | | | | | | | | | | | | |
| | **PG10** | **PG11** | **PG12** | **PG13** | **PG14** | **PG15** | | | | | | |
| **Apoios indeslocáveis** | -8,0 | -11,7 | -0,8 | 3,5 | -12,3 | -1,9 | | 11,2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| **Recalques impostos** | 13,2 | 12,5 | 2,2 | -14,8 | -10,3 | -2,2 | | 19,0 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| **Δ (%)** | 39 | 6 | 64 | 76 | -19 | 14 | | 41 | | | | |

* Valor de KMD maior que o limite permitido pela NBR 6118/2023. KMD = Md / (bw.d².fcd), onde: Md = momento fletor de cálculo; bw = largura da seção transversal da viga; d = altura útil da viga e fcd = resistência de cálculo do concreto.

## 8 CONCLUSÕES

Os resultados evidenciam, para o edifício em estudo, que a consideração dos recalques nos apoios altera de forma significativa a distribuição dos momentos fletores nas vigas dos primeiro e segundo pavimentos, em comparação à hipótese de apoios indeslocáveis. Observam-se variações relevantes na magnitude e no sinal dos esforços, caracterizando uma redistribuição típica de estruturas hiperestáticas submetidas a deslocamentos impostos. As mudanças de sinal indicam alterações nas regiões tracionadas das seções, com implicações diretas no dimensionamento das armaduras. Verificam-se também variações percentuais expressivas, cuja interpretação deve considerar simultaneamente os valores absolutos dos esforços. Os efeitos dos recalques não são uniformes ao longo da estrutura, dependendo da rigidez relativa dos elementos e da interação solo–estrutura. Dessa forma, a análise demonstra que a desconsideração dos recalques pode levar à avaliação imprecisa dos momentos fletores, reforçando a importância de sua inclusão em análises estruturais. Vale ainda ressaltar que a análise ora apresentada considerou os recalques efetivamente medidos, que se iniciaram quando o prédio já havia apresentado recalques significativos. Caso tivessem sido considerados todos os recalques, é possível que uma situação ainda mais preocupante tivesse sido verificada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alexandre, L.J. (2023) *Interação Solo-Estrutura em Edifícios com a Consideração do Efeito do Tempo*. Tese D.Sc., COPPE/UFRJ, 206 p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2019). NBR-6120. Cargas para o Cálculo de Estruturas de Edificações. ABNT, Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2022). NBR-6122. Projeto e Execução de Fundações. ABNT, Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2023). NBR-6118. Projeto de Estruturas de Concreto. ABNT, Rio de Janeiro.

Chamecki, S. (1954) Consideração da Rigidez da Estrutura no Cálculo dos Recalques da Fundação. In: *I Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações*, v. 1, pp. 35-80, Porto Alegre.

Danziger, F.A.B. (2003) *Parecer sobre as Fundações do Edifício Beverly Hills*. Relatório COPPETEC PEC – 4764 – i – 01.

Danziger, F.A.B., Danziger, B.R. e Marra, L.C.R. (2006) A Importância do Item 7.8.3.6.1 da NBR-6122/1996 que Limita a Carga de Trabalho de Estacas Pré-Moldadas – Associação a um Caso de Insucesso. *Anais XIII COBRAMSEG,* Curitiba.

Gonçalves, J.C. (2010) *A Influência dos Recalques das Fundações no Comportamento de Edificações ao Longo do Tempo*. Tese D.Sc., COPPE/UFRJ, 301 p.

Gonçalves, J.C., Santa Maria, P.E.L., Danziger, F.A.B. e Carvalho, E.M L. (2012) O Efeito do Tempo nas Solicitações de Fundações de um Edifício em Fundações Profundas. *Anais XVI COBRAMSEG,* Porto de Galinhas.

Gusmão, A.D. (1990) *Estudo da Interação Solo-Estrutura e sua Influência em Recalques de Edificações*. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, 189 p.

Gusmão Filho, J.A. (1998) *Fundações do Conhecimento Geológico à Prática da Engenharia*. 1 ed. Recife: Ed. Universitária – UFPE, 345 p.

Meyerhof, G.G. (1953) Some Recent Foundation Research and its Application to Design. *Structural Engineering*, v. 31, pp. 151-167, Londres.

Nunes, F.W.G. (2005) *Resistência e Módulo de Elasticidade de Concretos Usados no Rio de Janeiro*. Dissertação M.Sc., COPPE/UFRJ, 110 p.

Poulos, H.G. & Davis, E.H. (1980) *Pile Foundation Analysis and Design*. New York: Wiley.

Rosa, L.M.P., Danziger, B.R. and Carvalho, E.M.L. (2018). Soil-structure Interaction Analysis Considering Concrete Creep and Shrinkage. *IBRACON Structures and Materials Journal* 11: 564-585.

SAP 2000 (2010) CSI Analysis Reference Manual v. 11.0. *Computers and Structures Inc*., California, USA, 415 p.