Interação Estrutura-Solo

Influência do tempo x material da estrutura

Alguns exemplos básicos que representam os comportamentos mais prováveis de acordo com o tipo de sistema e ou materiais utilizados na estrutura são:

Caso A, estruturas infinitamente rígidas apresentam recalques uniformes. Por causa da tendência do solo deformar mais no centro do que na periferia, devido à continuidade parcial do solo, a distribuição das tensões de contato nos apoios é menor no centro e maior nos cantos externos. Esta distribuição de tensões assemelha-se ao caso de um corpo infinitamente rígido apoiado em meio elástico. Os edifícios muito altos e com fechamento das paredes resistentes trabalhando em conjunto com a estrutura, podem apresentar comportamento semelhante a este modelo.

Caso B, uma estrutura perfeitamente elástica possui a rigidez que não depende da velocidade da progressão dos recalques, podendo ser mais rápidos ou lentos, não influindo nos resultados. Os recalques diferenciais obviamente, serão menores que os de rigidez nula (Caso D) e a distribuição de tensões de contato variam muito menos durante o processo de recalque. Estruturas de aço são os que se aproximam a este comportamento.

Caso C, uma estrutura visco–elástico, como o de concreto armado, apresenta rigidez que depende da velocidade da progressão de recalques diferenciais. Se os recalques acontecem num curto espaço de tempo, a estrutura tem o comportamento elástico (Caso B), mas se esta progressão é bastante lenta, a estrutura apresenta um comportamento como um líquido viscoso e tenderá ao caso D. Essa característica acontece graças ao fenômeno de fluência do concreto que promove a redistribuição das tensões nas outras peças menos carregadas, relaxando significativamente as tensões locais.

Caso D é a estrutura que não apresenta rigidez aos recalques diferenciais. Este tipo de estrutura se adapta perfeitamente às deformações do maciço de solo. A distribuição de tensões de contato não se modifica perante a progressão dos recalques. As estruturas isostáticas e edifícios compridos ao longo do eixo horizontal são os casos que se aproximam a este tipo de comportamento.

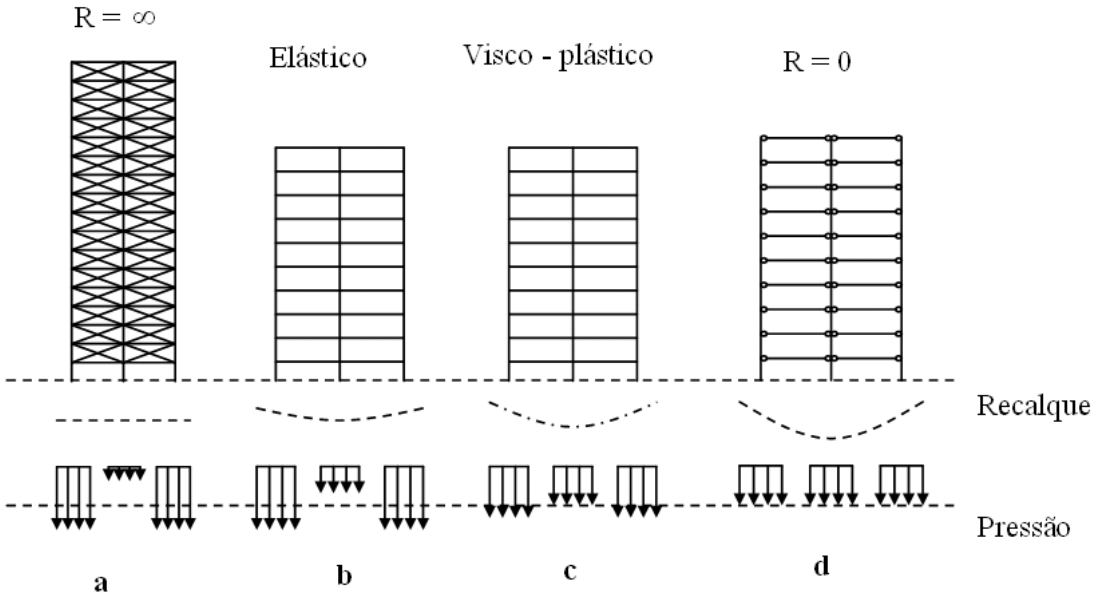

Figura 2.1 – Casos de interação solo – estrutura, CHAMECKI (1969).

O SISEs, apesar de a análise estar voltada para edifícios de concreto armado, se utiliza de recalques imediatos e não em função ao longo do tempo (não considerando a reologia do material), sendo então a modelagem numérica elástica (caso B).

Influência do Número de Pavimentos e Sistema Estrutural

GUSMÃO (1994) indica que o número de pavimentos é um dos fatores mais influentes na rigidez da estrutura, quanto maior o número de pavimentos de uma estrutura, maior será a sua rigidez. GOSHY (1978) observou a influência maior nos primeiros pavimentos, utilizando a analogia de vigas – parede.

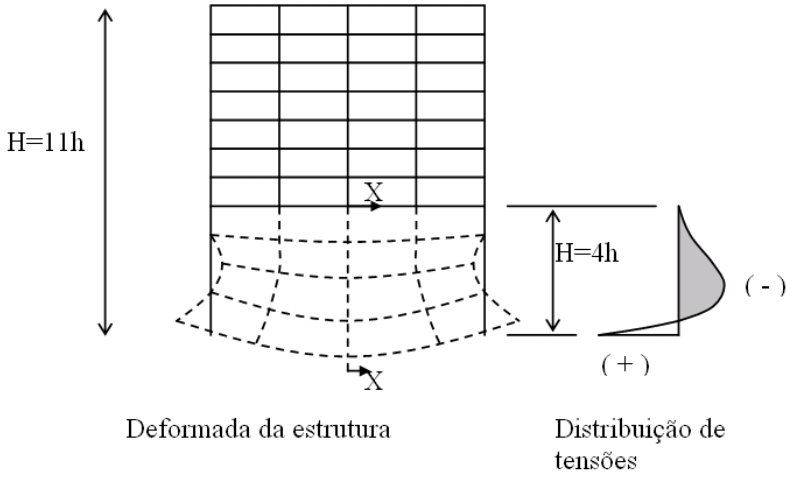

Figura 2.2 – Analogia da viga - parede, GOSHY (1978).

RAMALHO e CORRÊA (1991) analisaram dois edifícios com fundações em sapatas, um edifício com sistema laje cogumelo e o outro edifício com sistema laje, viga, pilar, fazendo uma comparação entre considerar o solo como

totalmente rígido ou elástico. Os resultados da análise mostram que a influência da consideração da flexibilidade da fundação nos esforços da superestrutura é muito grande. Mesmo com o solo com coeficiente de deformabilidade de E = 100.000 kN/m2, portanto relativamente rígido, a diferença entre considerar ou não se mostrou bastante significativa em alguns elementos da estrutura.

Observou-se que nos pilares, os esforços normais e momentos fletores tendem a uma redistribuição que torne os seus valores menos díspares, onde os maiores valores tendem a diminuir e os menores a aumentar.

Os edifícios com sistemas estruturais do tipo laje cogumelo mostraram serem mais sensíveis às fundações flexíveis que os de sistema laje, viga, pilar, por terem dimensões de pilares relativamente grandes, o que implica em tendência de apresentarem elevados valores de momentos fletores na base.

GUSMÃO (1994) apresenta dois parâmetros para fins comparativos entre considerar ou não a interação estrutura-solo:

- Fator de recalque absoluto AR=Si / S

- Fator de recalque diferencial DR= [Si-S] / S

onde: Si = recalque absoluto de apoio i

S = recalque absoluto médio

Com o uso destes parâmetros, o autor apresenta três casos reais de edifícios, comparando-os com resultados estimados convencionalmente (sem a consideração da rigidez da estrutura) e com os resultados medidos no campo. Através destas comparações o autor prova que o efeito da interação estrutura-solo realmente tende a uniformizar os recalques da edificação.

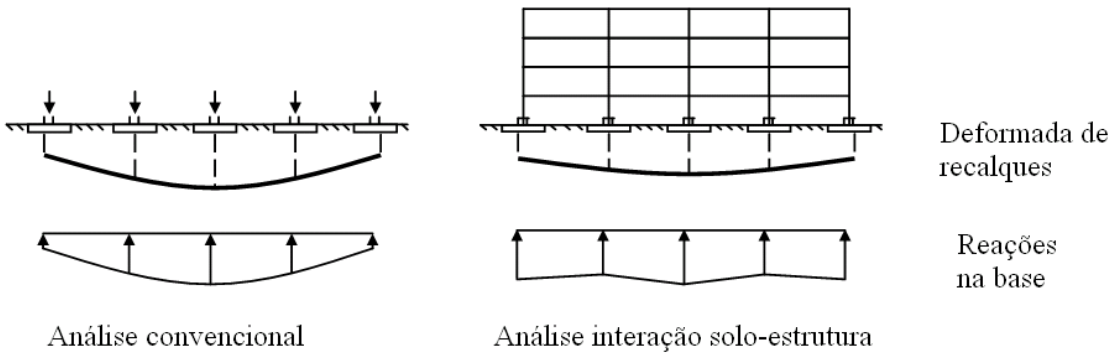

Figura 2.3 – Efeito de interação, GUSMÃO (1994).

Influência do Processo Construtivo

Segundo GUSMÃO e GUSMÃO FILHO (1994), durante a construção à medida que vai subindo o pavimento, ocorre uma tendência à uniformização dos recalques devido ao aumento da rigidez da estrutura, sendo que esta rigidez não cresce linearmente com o número de pavimentos.

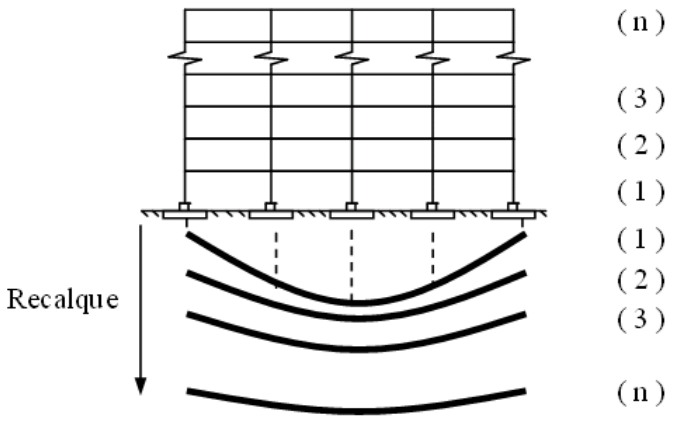

Figura 2.4 – Efeito da seqüência construtiva, GUSMÃO & GUSMÃO FILHO (1994).

FONTE et al. (1994) confrontaram os resultados dos recalques de fundações em sapatas medidos na obra de um edifício de quatorze andares com as previsões dos modelos numéricos entre considerar ou não a interação estrutura-solo e efeitos construtivos.

Os resultados indicaram que o modelo que não considera a interação solo - estrutura, superestima a previsão dos recalques diferenciais por não considerar a rigidez da estrutura;

O modelo que considera a interação estrutura-solo, mas aplica carregamento instantâneo para a estrutura completa, acaba subestimando a previsão dos recalques, devido a não consideração do carregamento gradual na estrutura e acréscimo de rigidez, o que induz a rigidez da estrutura maior que a real.

Os resultados que mais aproximaram com os medidos no campo, foi o modelo que considera os efeitos da interação estrutura-solo e a aplicação gradual de elementos estruturais que faz com que a rigidez dos elementos sofra constantes modificações para cada seqüência de carregamento.

Para simular numericamente a seqüência construtiva, onde um pavimento em construção não causa esforços solicitantes nos demais elementos superiores que ainda nem foram construídas, HOLANDA JR. (1998) utiliza o processo seqüencial direto. Este processo analisa para cada levantamento de pavimento, considerando apenas o carregamento aplicado no último pavimento com todas as barras construídas até aquele momento, prosseguindo até que o edifício atinja o seu topo. Como todas as análises realizadas são elásticas e lineares, os esforços finais de cada elemento são determinados pela simples soma dos seus respectivos esforços calculados em todas as etapas. Para considerar que o pavimento é construído nivelado e na sua posição original prevista no projeto, os recalques finais da fundação e os deslocamentos verticais de todos os nós do pórtico são obtidas da mesma forma, pela superposição.

Respeitando a seqüência construtiva, os deslocamentos verticais dos nós de um pavimento não são afetados pelo carregamento dos pavimentos abaixo. Portanto, os deslocamentos diferenciais entre os nós de um mesmo pavimento diminuem nos andares superiores, sendo máximos à meia altura do edifício. No topo correspondem à deformação somente do último pavimento. As deformações dos pilares seguem o mesmo raciocínio.

Todo processo apresentado até aqui é uma simplificação para fundações quando o seu comportamento é simulado como elástico linear. Na realidade, para fundações profundas e mesmo para sapatas, este processo deve ser estudado levando em consideração o comportamento não linear físico (material) do solo, ou seja, considerar o efeito de plasticidade.

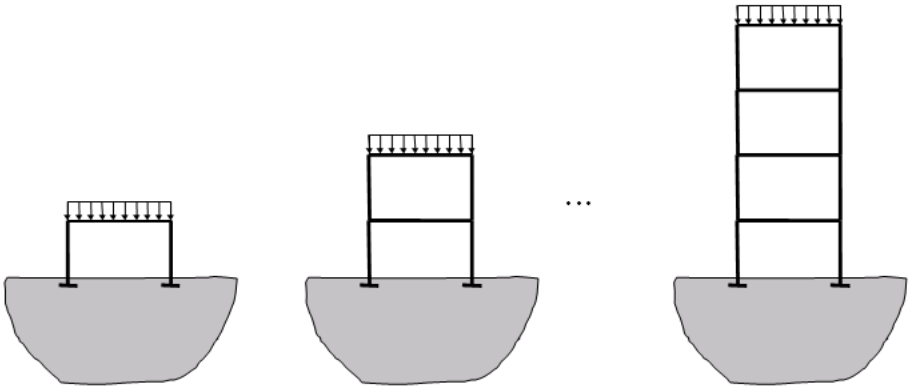

Figura 2.5 – Simulação da seqüência construtiva