Lajes – Uma repassada geral no tema

As questões levantadas sobre tipos de sistemas estruturais para pavimentos em concreto armado são muito abrangentes, sendo que podemos observar diversas opiniões sobre o assunto, muitas delas divergentes.

Quero aqui expor algumas idéias sem o intuito de gerar polêmicas.

Podemos perceber também muita subjetividade quando o assunto é este. Acho que deveríamos ser mais técnicos ao exprimir nossas opiniões sobre este assunto, um dos principais tópicos para projetos estruturais.

Todos que me conhecem, sabem que um dos meus objetivos profissionais é o de divulgar todas as técnicas que são do meu conhecimento (poucas aliás). Espero que todos compreendam as minhas boas intenções neste aspecto.

Ao longo destes meus 9 anos de TQS percebi que, na realidade, nosso conhecimento somado ainda não é suficiente. Vamos então a alguns pontos:

1) Fase Executiva

Não há controles executivos que nos ajudem a calibrar (com mais precisão)nossas ferramentas de análise.. Os problemas em obras não são relatados para que possamos estudar os problemas reais de campo.

Falo isto porque a fase executiva não é considerada em nossas análises. Podem ocorrer nesta fase oscilações e solicitações importantes, e estas já podem gerar fissuras e afetar a rigidez da laje e do pavimento.

As deformações no escoramento, que ocorrem já na concretagem, introduzem uma outra variável sobre a qual não podemos ter nenhum controle durante a análise estrutural. Estas deformações podem ocorrer pelas escoras ou nos pavimentos inferiores, que ainda não estão com a sua plena capacidade resistente.

Assim, nossas lajes já podem estar nascendo com deformações não previstas em nossas análises tradicionais.

Outro fator muito relevante, até gerador de patologias, foi à aplicação em projetos de valores dos módulos de elasticidade baseadas na antiga NB1-78, irreais para os concretos modernos.

Os problemas de patologia não ocorrem apenas em pavimentos com lajes lisas, sendo que aqui em São Paulo, ultimamente são relatados mais casos de fissuras em alvenarias abaixo de vigas.

2) Modelo Estrutural

Hoje, existem boas ferramentas à nossa disposição para que possamos realizar nossas análises.

Há 10 anos atrás a realidade era outra. A grande maioria adotava processos simplificados para a obtenção dos esforços nas lajes e recorríamos a muitos subterfúgios quando surgia uma laje plana em um projeto.

Aqui em São Paulo e em outras localidades, alguns engenheiros analisavam pavimentos em lajes lisas através de modelos unifilares, simulando que as faixas de lajes entre apoios eram vigas. No ano passado mesmo, 2 projetos elaborados assim foram analisados pelo prof. Vasconcelos. É um grande equivoco considerarmos que estas faixas de laje têm **rigidez** suficiente para receber trechos adjacentes da mesma laje com a mesma rigidez. Este tipo de análise pode ser um grande gerador das patologias comentadas aqui.

Eu entrei na TQS em 1994, e de lá para cá, nossos recursos de análise vem evoluindo constantemente. Hoje, os recursos de modelagem através de grelhas planas ou placas são bem completos em nosso sistema. Não quero aqui fazer propaganda dos sistemas, mas é importante citar algumas informações que julgo importantes aos engenheiros de estruturas que estão espalhados pelo nosso grande Brasil.

Agora vamos a um depoimento pessoal:

Eu projeto utilizando modelos de grelha, e em muitos casos, participo dos projetos apenas na elaboração do sistema estrutural dos pavimentos e no detalhamento. Já participei de projetos com os seguintes tipos de lajes":

Convencionais - lajes apoiadas em vigas
Lajes lisas com vigas de borda
Lajes lisas sem vigas de borda
Lajes nervuradas com vigas de borda
Lajes nervuradas sem vigas de borda
Lajes treliçadas
Convencionais -lajes apoiadas em vigas protendidas
Lajes lisas protendidas com vigas de borda
Lajes lisas protendidas sem vigas de borda
Lajes nervuradas protendidas com vigas de borda
Lajes nervuradas com vigas faixas protendidas
Lajes treliçadas com faixas protendidas
Em todos os projetos utilizei modelos de grelha, observando e respeitando os limites de deformações e fui extremamente coerente no detalhamento, considerando todos os esforços encontrados.

Até hoje, não recebi informações negativas a respeito das obras que participei, que indicassem, por exemplo, a existência de deformações excessivas, sinal que podemos obter bons resultados, se adotarmos modelos estruturais um pouco mais sofisticados.

Já participei de muitos projetos, muitos mesmo e para ser sincero, **tenho a tranqüilidade de dizer a todos que não conheço nenhum sistema estrutural que seja mais econômico que o outro**.

Existe sim, sempre, um sistema estrutural que pode ser o mais apropriado para um determinado pavimento. Por isto, todos nós devemos estar muitos preparados para podermos optar por uma determinada solução. Por este motivo, devemos estar sempre atualizados, buscando informações que nos ajudem em nossas decisões:

conhecimentos técnicos que sejam suficientes (em especial sobre protensão e punção)
recursos disponíveis sobre moldes recuperáveis, moldes fixos (EPS e lajotas)
disponibilidade de empresas de protensão
ritmo da execução
escoramentos
instalações usualmente empregadas
divisórias
profundo conhecimento dos recursos disponíveis em sua ferramenta de trabalho.
Sem ser demagogo, posso afirmar a todos que, geralmente, para que possamos elaborar um bom projeto de lajes complexas, necessitamos de softwares de análise estrutural.

Hoje em dia encontramos diversos bons softwares. Mas precisamos conhecê-los e procurar entender os modelos que estamos utilizando para projetar, que variáveis e variações que podem reproduzir com mais veracidade a estrutura real. Precisamos estar aptos a projetar com todos os recursos que dispomos. **PRECISAMOS CONHECER AS NOSSAS FERRAMENTAS DE TRABALHO**.

Em minha "peregrinação" tenho observado muitas reações em engenheiros de estruturas. Algumas delas devem ser citadas:

Desprezar completamente os resultados obtidos, apesar de corretos, baseando-se em "sua larga experiência profissional"
Desprezar completamente os resultados obtidos porque os concorrentes estão projetando estruturas mais esbeltas do que as obtidas.
"Forçar a barra" para obter resultados positivos modificando alguns parâmetros fundamentais tais como considerar

um **E**c elevado, desprezar a fluência e os efeitos da deformação a longo prazo, etc.
Transmitir aos mais jovens impressões pessoais bem "light" baseadas em estórias do passado, do tipo **"Esta lá de pé"** sem nenhum embasamento mais técnico.
Confesso que hoje sou um pouco conservador em minhas análises. Considero sempre parâmetros que um pouco a favor da segurança, principalmente na avaliação de deformações. Vejamos algumas considerações principais para usuários do TQS, que pretendem projetar utilizando o módulo de grelhas planas com análise linear:

2.1) Módulo de elasticidade segundo a nova NB1

E_c = 0.85 * 5600*raiz(f_{ck}) (f_{ck} em MPa)

No TQS o E_c ainda é definido segundo a fórmula da antiga NB1-78:

E_c = VEC*raiz(f_{ck}+35) (f_{ck} em Kg/cm²)

O coeficiente VEC corresponderia a 0,9 * 21000 para o módulo de elasticidade da antiga NB1.

Para já assumirmos o módulo de elasticidade da nova NB1 no Grelha-TQS, basta definir o fck no edifício e estabelecer o coeficiente VEC como:

$$VEC = \sqrt{\frac{221.000.000 \times fck}{fck + 35}}$$ (f_{ck} em Kg/cm²)

2.2) Plastificações

Na análise linear não temos recursos para avaliar as reduções de inércia provenientes com mais realismo, então devemos adotar alguns coeficientes que correspondam a graus habituais de plastificação.

2.2.1) Inércia a torção: considerar que as barras tenham 1/6 da inércia integral a torção.

Assim esta se simulando que as barras estão no estádio II, consideração esta que pode estar um pouco a favor da segurança,pois a fissuração de torção ocorre normalmente nos pontos onde o momento volvente é grande (nos cantos).

2.2.2) Inércia a flexão: Em capitéis, devemos considerar redutores de flexão entre 1.5 a 2, ou seja, não devemos adotar níveis de plastificação excessivos

2.3) Apoios

Adotar sempre "Apoios elásticos Independentes" para as ligações dos pilares com as vigas e lajes. É bom estabelecer um limite de profundidade para os apoios das barras de laje , critério que foi introduzido na versão 8.2, mas pouco conhecido pelos usuários.

2.4) Deformações

Devemos criar as seguintes combinações para simular as deformações:

Simulação de Deformações Finais a Longo Prazo (devemos limitar em L/350)

Em pavimentos em concreto armado
2 * Peso Próprio (g1)
2 * Cargas Permanentes (g2)
0.7 * Cargas Variáveis (g)
Em pavimentos com protensão completa
3 * Peso Próprio (g1)
3 * Cargas Permanentes (g2)
0.7 * Cargas Variáveis (g)

3 * Forças de Desviação (Cargas Balanceadas) no tempo infinito

Simulação de Deformações Diferencias após a Execução das Alvenarias (devemos limitar em L/500)

Em pavimentos em concreto armado
1 * Peso Próprio (g1)
2 * Cargas Permanentes (g2)
0.7 * Cargas Variáveis (g)
Em pavimentos com protensão completa
2* Peso Próprio (g1)
3 * Cargas Permanentes (g2)
0.7 * Cargas Variáveis (g)
2 * Forças de Desviação (Cargas Balanceadas) no tempo infinito
Devemos também, sempre tentar atender os limites de dimensões estabelecidos na nova NB1 (itens 13.2.4.1 e 13.2.4.2):

13.2 DIMENSÕES LIMITES

13.2.4 Lajes

13.2.4.1 Lajes Maciças

Nas lajes maciças devem ser respeitados os seguintes limites mínimos para a espessura:

a) 5 cm para lajes de cobertura não em balanço;
b) 7 cm para lajes de piso ou de cobertura em balanço;
c) 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 KN;
d) 12 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30 KN;
e) 15 cm para lajes com protensão apoiadas em vigas, l/42 para lajes de piso bi-apoiadas e l/50 para lajes de piso contínuas;
f) 16 cm para lajes lisas e 14 cm para lajes cogumelo.
Lajes lisas - pavimentos sem vigas

Lajes cogumelo - com capitéis na região dos pilares

3) Particularidades de Alguns Sistemas Estruturais

Vou tentar transmitir algumas observações, minhas e de alguns gurus importantes.

Na realidade não existe uma estrutura mais econômica, mas podemos obter sistemas construtivos integrados que podem dar um novo alento a um empreendimento e ganhos de economia reais. Hoje, a realidade da construção no Brasil não esta totalmente delineada para este enfoque, e em muitos casos as decisões sobre o sistema estrutural são tomadas por modismos da região ou pela cultura arraigada em uma determinada empresa e/ou de seus profissionais. Em muitos casos, cada empresa julga / cisma que o seu sistema de construção é o mais econômico

3.1) Estruturas Nervuradas

Maiores facilidades para a definição de um tipo de laje com comportamento otimizado, onde podemos tanto optar por lajes com nervuras principais em 1 direção quanto lajes com nervuras distribuídas em 2 direções

Consumo médio em edifícios de médio porte (20 andares tipo)com vãos de até 7.5 m
Aço ~ 115 kg kg/m³
Espessura média = 19 cm
Condições de vencer vãos significativos
Normalmente aumenta a altura total da edificação
Aumentam as dificuldades de compatibilização com os outros sistemas (instalações, vedações)
Dependendo do sistema construtivo e das instalações adotadas exigem execução de forro

A escola do tipo de molde depende de fatores que não estão sub o domínio dos projetos:
Fornecedores aptos na região
Estoque de moldes de um determinado formato a serem utilizados
Exigem maiores cuidados na elaboração do projeto, que tem que nascer com um sistema de moldes já estabelecido no inicio. Esta tomada de decisão deve ser assumida pelos diversos projetistas e pelo incorporador/construtor e todas as decisões decorrentes da solução adotada devem perdurar daquele instante do projeto em diante. Mas, na vida real, sempre acontecem questionamentos posteriores.
Entrada de mais um evento e um fornecedor na obra
As interferências com instalações são mais complexas, aumentando demasiadamente o andamento do projeto e o detalhamento final.
O grande número de barras / posições diferentes diminuem os índices de produtividade para o corte, dobra e montagem.
Novos sistemas de Fôrmas facilitam a montagem e aumentam a produtividade

3.2) Estrutura Convencional

Consumo médio em edifícios de médio porte (20 andares tipo)
Aço ~ 90 a 105 kg kg/m³
Espessura média = 22 cm
Maior necessidade de compatibilização com a arquitetura para a definição final das posições das paredes e dos pilares
Sistemas de cimbramento mistos
Aspectos de qualidade críticos, principalmente nos encontros dos elementos estruturais
Painéis de formas de vigas devem ser estruturados

3.3) Lajes Planas

Importância dos Pilares na Estabilidade Global: O conjunto de seções dos pilares geralmente tem que ser maiores para se estabilizar os pilares devido a ausência de vigas
Permite Lay-outs arquitetônicos mais flexíveis
Podem ter ou não vigas de borda
Consumo médio em edifícios de médio porte (20 andares tipo)
Aço ~ 115 kg kg/m³
Espessura média = 25 cm
Eventual protensão
Facilitam a compatibilização com os outros sistemas (instalações, vedações)e outros projetos de utilidades
Alta produtividade tanto para os projetos quanto para a execução
Qualidade: mais fácil de ser obtida
Sistemas de cimbramento mais simples
Concretagem facilitada
Protensão: Um novo elemento na obra
A maior sensibilidade a ações horizontais exige análise estrutural mais criteriosa
Aumenta-se a necessidade de vigas de borda quando a protensão não é adotada
Possibilidade de adoção de armaduras mais racionalizadas (telas soldadas)
Quando existe protensão também gera mais um evento e um fornecedor na obra
Nas lajes protendidas deve-se tomar cuidados adicionais quanto a vibração, devido a esbeltez excessiva
Eng. Luiz Aurélio

TQS Informática Ltda.