téchne
www.revistatechne.com.br IMPRIMIR

REPORTAGEM

Estruturas

» Lajes ampliadas

Para obter vãos maiores, calculistas têm à disposição grande gama de soluções. Conheça algumas delas

Por Gisele C.Cichinelli

Marcelo Scandaroli

A customização dos apartamentos deixou de ser uma tendência para se tornar um diferencial competitivo no mercado imobiliário. De olho nessa nova realidade, as construtoras já perceberam o forte apelo comercial das plantas flexíveis na venda de unidades. Mas se por um lado elas permitem que o usuário personalize seu apartamento, adaptando-o às suas reais necessidades, todas as suas facilidades e vantagens só são possíveis graças às soluções estruturais adotadas a partir do projeto.

Em geral, a maior flexibilidade pressupõe grandes vãos de lajes, que induzem a maiores espessuras desse elemento estrutural e, conseqüentemente, a maiores espessuras médias da estrutura (relação entre volume da estrutura daquele pavimento e sua área de projeção), repercutindo diretamente nos custos finais da obra. "Essa solução é economicamente mais viável para apartamentos de alto padrão", observa Jorge Batlouni, diretor técnico da Construtora Tecnum. Embora mais comum nesse nicho de mercado, o projetista estrutural José Roberto Braguim, da OSMB Engenheiros Associados e presidente da Abece (Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural) ressalta que a oferta desse tipo de planta não tem sido uma estratégia de marketing restrita a esse segmento. Ele faz questão de lembrar que hoje já são inúmeros os empreendimentos para baixa renda que contam com esse benefício. São edifícios construídos em alvenaria estrutural e com lajes convencionais que vencem vãos de até 4,50 m, possibilitando a integração da sala com o primeiro dormitório. "O custo do investimento se dilui na escolha dos acabamentos, geralmente mais baratos", explica Braguim.

Seja para atender às necessidades do mercado de baixo ou alto padrão, o que importa é pensar em soluções eficientes, não só do ponto de vista estrutural mas também sob os aspectos de construção e custos. Embora não haja "receita

de bolo", a execução de lajes sem vigas, por exemplo, é apontada pelos especialistas como ótima alternativa quando se pretende garantir a flexibilização do layout. Esse recurso estrutural apresenta várias vantagens construtivas e funcionais, entre elas as execuções de armação e de fôrmas mais simples (as vigas acarretam muitos recortes); diminuição da altura total do edifício; tetos planos ou lisos e sem delimitação de espaços. O projetista estrutural Ricardo França, do escritório França e Associados, lembra que essa solução permite mudanças de paredes sem a interferência das vigas internas e são capazes de vencer vãos de mais de 6 m. "É a alternativa mais cara mas pode ser viabilizada graças à racionalização da mão-de-obra no canteiro", garante.

Outro ponto importante que merece atenção é o papel estrutural das vigas que cumprem a função de distribuição das cargas verticais proporcionando estabilidade e resistência ao conjunto construtivo. Juntamente com os pilares, criam os pórticos, eficiente solução para o contraventamento de edificações muito altas. Por isso, se eliminadas, por conta da maior deformabilidade e da concentração de esforços nas regiões dos pilares, geralmente exigirão lajes de espessuras maiores. As lajes sem vigas também são menos eficientes para garantir a estabilidade global do edifício, problema que pode ser contornado com o uso de núcleos rígidos constituídos por pilares em volta da caixa dos elevadores e por paredes estruturais (pilares-parede) posicionadas em geral nas fachadas laterais dos edifícios com planta predominantemente retangular. "Soluções estruturais que encarecerão a obra", observa França.

Com ou sem vigas

Entre as soluções sem vigas, estão as lajes cogumelo. De acordo com o projetista, são as melhores opções estruturais para plantas flexíveis pois vencem vãos superiores a 6 m permitindo maior liberdade para mudanças de paredes. Porém, são mais difíceis de serem executadas exigindo reforços na região dos pilares com o uso de capitéis, que podem ser constituídos por aumento da seção do pilar abaixo ou por aumento da espessura da laje em volta do pilar.

De acordo com Libânio Miranda Pinheiro, professor doutor do Departamento de Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, tanto as lajes convencionais quanto as lajes sem vigas podem ser maciças ou nervuradas. As maciças são mais tradicionais, mais pesadas e funcionam melhor como diafragmas rígidos, porém são mais caras principalmente pelo custo das fôrmas e do escoramento. O professor lembra que a laje nervurada é outra boa opção para vencer grandes vãos. Apesar de possuir maior espessura, essa alternativa consome menos concreto por conta dos vazios entre as nervuras que podem ser aparentes ou preenchidos com materiais inertes, como tijolos cerâmicos e EPS, resultando em um conjunto mais leve. O consumo de aço também é menor, pois a espessura maior aumenta a eficiência das barras. Outra vantagem das lajes lisas nervuradas é permitir que as vigas e capitéis sejam embutidos na espessura da laje. "Para que as lajes não resultem muito espessas, são usadas vigas com largura maior que a espessura, as chamadas vigas chatas ou vigas-faixa", lembra.

Outro recurso possível, principalmente quando o projeto solicita vãos maiores que 6 m, é o uso de protensão em que parte da armadura é submetida a

tensões prévias, provocando inicialmente compressão no concreto, de maneira adequada, de modo a diminuir os esforços finais e os deslocamentos das lajes. Em princípio, a protensão pode ser aplicada em qualquer tipo de laje mas exige cuidados de projeto e execução. São mais caras que as demais soluções e exigem mão-de-obra especializada, mas apresentam vantagens comerciais que podem compensar o maior custo de execução.

Fator mão-de-obra

Outro item importante que deve ser computado antes da escolha final é o custo da mão-de-obra, principalmente quando pago por empreitada. O projetista estrutural Ricardo França lembra que há duas modalidades praticadas no mercado para cálculo desses valores: por metros cúbicos de concreto lançado ou pelos preços separados de lançamento do concreto, execução do aço e montagem e desmontagem de fôrmas. Caso opte pela primeira, o construtor deverá estar atento a qualquer acréscimo na altura da espessura de laje, situação bastante comum quando o projeto requer grandes vãos. "Um aumento de 4 cm na espessura da laje, por exemplo, implicará 50% a mais de custo com mão-de-obra e materiais", ressalta o projetista.

Para evitar esse problema, a alternativa que vem sendo adotada pelas construtoras é a contratação de mão-de-obra própria e paga por hora. Jorge Batlouni, diretor técnico da Construtora Tecnum, explica, por exemplo, que quando se adota a solução com lajes planas e maiores vãos a produtividade (quantidade de horas para se executar uma unidade de serviço) do carpinteiro aumenta muito. "A alternativa para a redução desse indicador é medi-la em homem-hora por metro quadrado de fôrma executada", aconselha. O diretor lembra também que, por se tratar de uma laje mais espessa, o custo do escoramento e o consumo de concreto e aço também se elevarão e que, em função dos custos relativos desses insumos, uma solução adotada numa época pode não ser a mais econômica em outra. Por isso, o ideal é fazer simulações das diversas tipologias, analisando o custo dos materiais e mão-de-obra envolvidos. "A decisão nunca poderá ser imediata", alerta.

Opção estrutural	Descrição das tipologias estruturais para a mesma opção de arquitetura
1	Estrutura convencional racionalizada, lajes, vigas e pilares com possibilidade de integração do 3º dormitório à sala, sem vigas aparecendo
2	Estrutura convencional racionalizada, lajes, vigas e pilares, mas a integração do 3º dormitório à sala tem vigas e pilar aparecendo
3	Estrutura em laje cogumelo, sem capitéis, com vigas de borda nas fachadas
4	Estrutura em laje nervurada tipo cabaça, com 18 cm, com vigas de borda nas fachadas
5	Estrutura em laje cogumelo, sem capitéis, sem vigas de borda nas fachadas, e pilares-parede para contraventamento
6	Estrutura em laje cogumelo protendida, sem capitéis e com quatro pilares a menos, sem vigas de borda nas fachadas, e pilares-parede para contraventamento

Custo M.O./m² concreto			Opção estrutural	1	2	3	4	5	6
Insumo	Material	M.O.							
Concreto (R$/m³)	190,00	275,00	Custo/m² de estrutura	R$ 150,50	R$ 142,50	R$ 178,60	R$ 163,10	R$ 193,60	R$ 193,70
Fôrmas (R$/m²)	4,00	0,00							
Aço (R$/kg)	2,75	0,00							

Custo M.O. separados			Opção estrutural	1	2	3	4	5	6
Insumo	Material	M.O.							
Concreto (R$/m³)	190,00	40,00	Custo/m² de estrutura	R$ 146,10	R$ 139,70	R$ 167,80	R$ 155,00	R$ 175,30	R$ 179,50
Fôrmas (R$/m²)	4,00	12,50							
Aço (R$/kg)	2,75	0,85							

Obs.: na opção estrutural 4 de laje nervurada deve-se adicionar o custo do forro de gesso e o aumento da fachada em decorrência do maior piso a piso.

Fonte: Escritório França e Associados

Estudo de caso

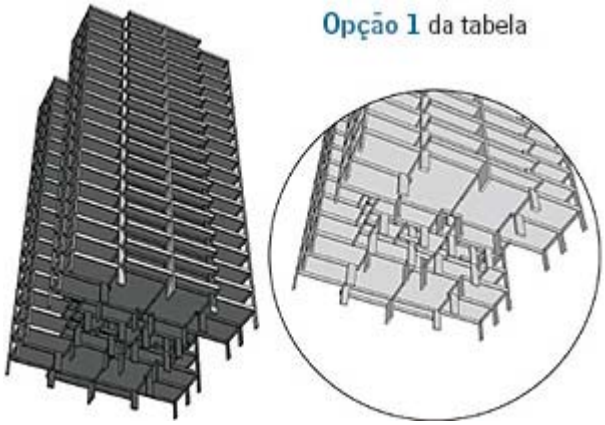
Análise de estruturas viáveis para a execução de edificação residencial em concreto moldado in loco, tipologia com 18 andares-tipo, com quatro apartamentos de três dormitórios por andar (Projeto de Arquitetura da MCAA Arquitetura e de Estrutura da França e Associados Engenharia)

Estrutura Convencional Racionalizada com lajes, vigas e pilares e possibilidade de integração do 3o dormitório à sala sem vigas aparentes

Nessa solução, terceiro dormitório e sala se integram, eliminando as vigas aparentes. A solução estrutural convencional vence vãos de 3 m a 4,5 m com as lajes de 11 cm de espessura e viga da altura usual de 0,55 m

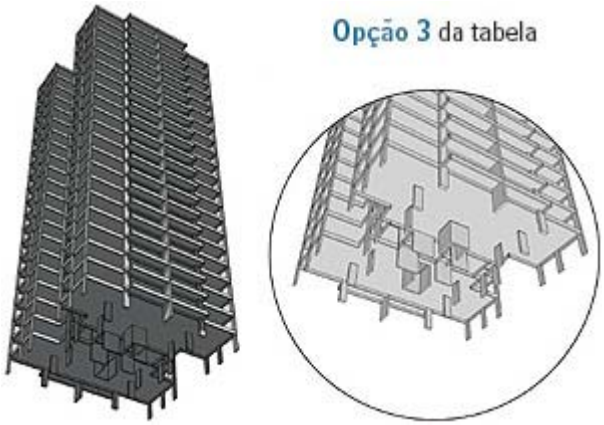
Estrutura Convencional Racionalizada com lajes, vigas e pilares aparentes

A estrutura de laje convencional com vigas e pilares vence vãos de 3 m a 4,5 m permitindo a reversão do terceiro dormitório para ampliação da sala, porém pilar e vigas ficam aparentes



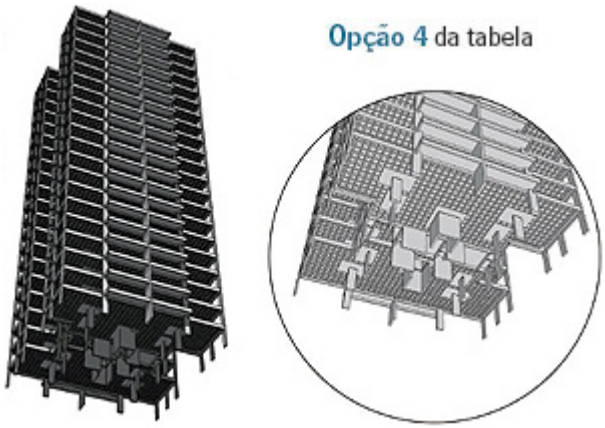
Estrutura em laje cogumelo, sem capitéis, com vigas de borda nas fachadas

As vigas internas foram eliminadas permitindo ao futuro morador maior flexibilidade para alterações de layout além de eliminar qualquer interferência desse elemento junto às vedações internas (seja drywall ou alvenaria convencional). Para garantir a eficiência do contraventamento, optou-se pela execução de vigas de borda nas fachadas. Além de auxiliar na formação de pórticos, elas evitam deformações maiores na borda da estrutura e cumprem ainda a função de verga da janela. As lajes cogumelo de 16 cm de espessura apóiam-se sobre os pilares – dois por apartamento – vencendo vãos de 5 m a 6 m sem necessidade de serem protendidas. Sem capitéis e, portanto, sem a necessidade do uso de forros, a altura do piso a piso é a usual, de 2,80 m, não implicando aumento da altura da construção.



Estrutura em laje nervurada tipo cabaça com 18 cm, com vigas de borda nas fachadas

Para vencer vãos de 5 m a 6 m, a opção foi o uso de lajes nervuradas, solução um pouco mais leve que a maciça. Embora eliminem as vigas internas, exigem a execução de capitéis embutidos na espessura da laje de 23 cm (18 cm de altura das cubetas mais 5 cm de concreto). Para minimizar a interferência visual dos capitéis, a solução é aplicação de forro de gesso ao longo da extensão do teto, o que implicará aumento da altura do piso a piso para 2,93 m e, conseqüentemente, do custo de construção por metro quadrado. Outro desafio de execução é garantir que as paredes subam até as nervuras de modo a vedá-las completamente impedindo a propagação do som pelos ambientes.

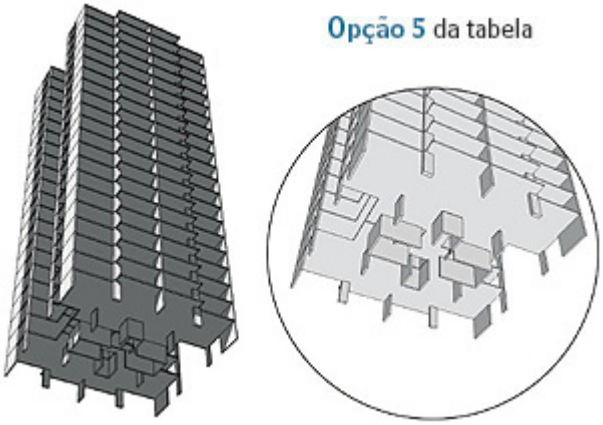


Estrutura em laje cogumelo, sem capitéis, sem vigas de borda nas fachadas e com pilares-parede para contraventamento

A especificação das lajes cogumelo de espessura de 18 cm e sem viga de borda foi a alternativa estrutural para vencer vãos de 6 m. Com o posicionamento de apenas duas vigas junto às escadas e aos elevadores, e em virtude da eliminação dos pórticos, recorreu-se ao uso de pilares-parede como elementos de contraventamento. Em termos de custo, o impacto dessa solução é maior pois, do ponto de vista de estrutura, demandará mais aço e concreto, além de fôrmas mais complexas para a sua execução. Outro detalhe importante é que a execução das lajes sem vigas de borda necessariamente exigirá a eliminação dos rebaixos entre a sala e a varanda.

Estrutura em laje cogumelo protendida, sem capitéis e com quatro pilares a menos, sem vigas de borda nas fachadas e com pilares-parede para contraventamento

Para vencer o vão contínuo de 6,20 m, a solução estrutural exige uma laje cogumelo sem viga de borda com protensão, recurso necessário para evitar o aparecimento de grandes deformações na estrutura. Graças à protensão, também foi possível eliminar um dos pilares em cada apartamento além de reduzir a espessura da laje para 17 cm. Porém, quanto maior forem os esforços solicitantes e menor a espessura da laje, maior quantidade de aço será necessária para executá-la sem que haja comprometimento da eficiência da armadura. Essa solução também impossibilita recortes na laje pois ao cortar um dos cabos, ele perderá a aderência em toda a sua extensão.



Outras soluções

Marcelo Scandaroli

Indicada sobretudo para compor um conjunto estrutural com vigas e pilares metálicos, a laje steel deck apresenta várias vantagens, entre elas a possibilidade de dispensar escoramentos, reduzindo, conseqüentemente, custos com aluguel, montagem e desmontagem e com mão-de-obra. Nesse caso, consegue vencer vãos que variam entre 2,5 m e 3 m. Para a execução de plantas com a exigência de vãos maiores, no entanto, a adoção do steel deck pode não ser uma opção tão vantajosa. "Para essas situações certamente serão exigidos escoramentos eliminando, desse modo, uma das grandes vantagens da solução", explica o presidente da Abece, José Roberto Braguim.

Ao contrário do steel deck, as lajes alveolares podem vencer até 15 m. Quando combinadas com protensão, são capazes de cobrir vãos de 20 m. Possuem alturas que variam de 10 cm a mais de 40 cm, porém o uso em edificações residenciais também é bastante incomum. "Tais lajes justificam-se essencialmente quando aplicadas em conjunto com partidos estruturais pré-fabricados, em projetos arquitetônicos que primam pela modularidade e repetição", lembra Braguim.