

a revista do engenheiro civil

www.revistatechne.com.br

apoio  
IPT

# téchné

PINI

ENTREVISTA  
FABIO VILLAS BÔAS  
Superdemanda  
e industrialização

Edição 169 - ano 19 abril de 2011 R\$ 24,00

PISOS

Especificação  
esportiva

TECNOLOGIA

Por que é difícil  
fazer edifício alto?

ESTÁDIO CIUDAD DE LA PLATA

## Coberturas com membranas

Tecidos técnicos conquistam os estádios, aeroportos, galpões e outras construções. Leveza, arquitetura e manutenção jogam a favor do sistema



# Desafio à altura

**Não é só com situações extremas, o colapso, que o projetista de edifícios altos deve se preocupar. Revestimentos, caixilhos e a logística da obra merecem um planejamento diferente**

A definição para um edifício alto, quando é feita pelo número de andares, invariavelmente sofrerá alterações ao longo do tempo. Se há 15, 20 anos, um prédio de 25 andares podia ser considerado alto, hoje os prédios de 30 andares estão começando a ficar comuns, principalmente no segmento residencial.

“Se eu tivesse que definir, consideraria que um edifício alto é aquele cujos esforços devidos ao vento passam a ser primordiais no dimensionamento da estrutura”, afirma Jonas Medeiros, diretor técnico da Inovatec. Ou seja, não se trata somente da altura da edificação, mas também de sua esbeltez.

O especialista em fundações e diretor da Consultrix, Milton Golombek, também comenta sobre esses dois fatores: “É mais importante a relação base altura que a altura em si. Quando esta relação começa a ficar muito pequena, o prédio fica mais esbelto, e, quanto mais esbelto, mais problemático para tudo: estrutura, caixilho, vidro, alvenaria”, argumenta.

Quando há grandes alturas, o nível de esforços e cargas é de outra esfera. “Muda a movimentação do prédio com o vento, a estrutura passa a ser mais rígida e mais pesada”, acrescenta Golombek. O principal é que essas mudanças em edifícios altos não aumentam linearmente, como se um prédio de 30 andares se comportasse como dois de 15. As configurações são diferentes.



Além de um projeto bem criterioso e detalhado, a execução de prédios altos deve atender principalmente para o controle geométrico e segurança

Desta forma, já surge uma grande crítica entre o meio especializado: que um engenheiro que faz prédios baixos – mesmo que bem – acredite que basta repetir a mesma prática para um prédio com o dobro do tamanho. Acontece que, por conta da altura e esbeltez, algumas questões começam a ficar importantes, principalmente quanto à estabilidade do edifício. Golombek enfatiza: “Não é para qualquer calculista, quem está acostumado a fazer 15 andares precisa estudar, ir atrás de informações”.

#### Execução com logística

Na hora da execução, as grandes distâncias verticais precisam de apoio logístico e de equipamentos para, por exemplo, bombear concreto a 150 m de altura. No geral, é necessário um rigor geométrico maior, principalmente para não acumular erros.

A circulação vertical é crítica, os tempos são maiores. São necessários equipamentos com maior capacidade, guias mais velozes ou mesmo mais guias – leva-se até o dobro do tempo para transportar material que em um prédio de 15 ou 20 andares.

Na espera do elevador, o tempo de exposição do material aumenta. “Provavelmente será preciso fazer misturas de argamassa em patamares intermediários”, analisa Medeiros. A execução do revestimento também pode ser separada em etapas, primeiro da metade do edifício para baixo, depois a metade de cima, por questões de cronograma. “Por isso o controle geométrico é importante, para não desalinhar”, diz o engenheiro.

A segurança também deve ser maior, como proteção contra o vento. E também pode ser recomendável disponibilizar banheiros nos andares imediatamente inferiores aos em execução, porque o funcionário pode demorar até uma hora para descer e subir novamente.

#### Fachada alta

Os cuidados com a fachada, assim como fundações e estrutura, também começam no projeto. Para edifícios altos, fica mais importante o rigor nas especificações e coeficiente de segurança, além do nível de detalhamento.



A ação do vento sobre o edifício gera flexão, torção e outras solicitações que devem ser absorvidas pela superestrutura e pelas fundações

Um projeto pode ter desde “duas folhas A4 com algumas especificações”, até “200 folhas com mais 100 detalhes específicos”, conta Jonas Medeiros. O importante é, nesta etapa, encontrar e solucionar todos os possíveis problemas, para não deixar para decidir na hora de executar o que fazer.

Quando se pensa em fachada em grandes alturas, é essencial que não haja erros de execução que causem, no limite, a queda de um material, já que a situação é muito mais perigosa. Assim, a supervisão deve ser mais criteriosa. Medeiros indica um engenheiro supervisor só para a fachada, que pode ser um jovem profissional preparado para tal, além de uma média maior de encarregados por pedreiros.

O controle geométrico da estrutura para evitar espessuras maiores do emboço, por exemplo, deve ser feito por um topógrafo, com verificação a laser.

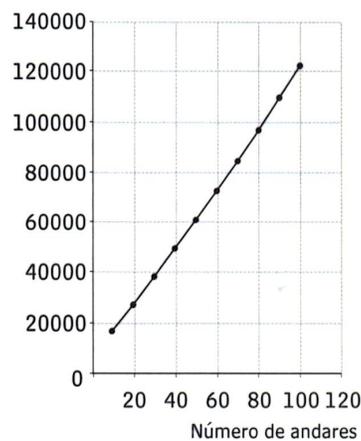
“Na prática, é o mapeamento da fachada. Não é convencional”, reconhece Medeiros. A espessura não pode ser muito grande, executada com muitas camadas, pois quanto mais intervenção de mão de obra, maior a chance de erro de execução e de quantidade de vazios no emboço. “O esperado”, diz o engenheiro, “é abaixo de 5 cm. Sem o devido controle, pode-se chegar a 10, 12 cm”.

Também devem ser feitos mais ensaios de controle, tanto dos materiais a serem utilizados como durante a execução da fachada. Além do ensaio básico de resistência de aderência, “há também os ensaios dos materiais, controle da resistência do emboço (compressão, módulo de deformação), absorção da cerâmica e expansão por unidade (EPU)”, conta Medeiros. “Também pode-se criar outros, como ensaio de aderência do chapisco, que não está na norma”, complementa. »



Jonas Medeiros

Quando se usa concreto de alto desempenho, a aderência do chapisco é menor. Deve-se tratar o concreto ou mudar o chapisco



**Gráfico 1** – Resistência (K) x número de andares do edifício. A curva da rigidez é exponencial

Com a estrutura feita em concreto de alto desempenho, que é mais resistente e menos poroso, o chapisco convencional tem mais dificuldade de se aderir. “Há dois caminhos”, explica Medeiros, “um é tratar o concreto para receber o chapisco de forma não convencional; a outra, mudar o chapisco”. Uma solução que surgiu a partir da necessidade prática foi usar dois chapiscos sobre a superfície da estrutura, sendo o primeiro adesivo (argamassa colante especial) e outro convencional. “Descobriu-se que isso não representava perda de tempo e o custo era bem absorvido”, conta o engenheiro.

De toda forma, deve-se trabalhar com materiais com maior coeficiente de segurança. O objetivo é manter sob

controle as variáveis que podem causar qualquer tipo de problema.

“A dificuldade para revestimento de fachada é que não há modelos matemáticos consagrados para o dimensionamento do revestimento convencional aderido”, explica Medeiros. Um dos motivos é a execução quase artesanal, feita por mão de obra pouco habilitada. É difícil repetir as exatas condições de execução em um prédio inteiro. Por isso, torna-se essencial tanto controle.

Para Medeiros, a construção convencional de edifícios tão altos é questionável. “Começa a entrar no limite da experiência e do conhecimento adquirido”, argumenta o engenheiro.

### Estabilidade da estrutura

“Em um edifício alto, a primeira coisa com que nos preocupamos é a estabilidade global, que ele tenha rigidez suficiente para manter o prédio no lugar”, afirma Francisco Graziano, projetista estrutural, diretor da Pasqua & Graziano. Rigidez é uma relação entre força e deslocamento, e as exigências de rigidez do edifício são exponencialmente maiores em função do número de andares (ver gráfico 1).

Quando se está projetando o prédio, é preciso pensar no sistema de contraventamento. “Se é aplicada uma força de vento ao edifício, aparece uma solicitação de tração do lado frontal ao vento e de compressão do lado oposto”, explica Graziano. “Por um lado”, continua, “a compressão, somada às cargas verticais, onera o pilar”. Do outro lado do edifício, a mesma força, que faz tração, não pode ser maior que a carga gravitacional: “o pilar ficaria inteiro tracionado, o que causaria fissuras, e seria necessário armar muito o pilar. A grande busca é colocar os elementos estruturais de tal forma que, apesar do efeito do vento, nenhum pilar fique tracionado”, completa o engenheiro (ver desenho 1).

A própria forma de organizar a estrutura vai mudando por conta do tamanho do prédio. Se, para edifícios mais baixos, pode-se pensar em um elemento de contraventamento tipo mastro, “a partir de certa altura é necessário misturar pórticos com pilar-parede, o que dá um efeito mais favorável”,

conta Graziano. Se a altura for muito maior, tem que usar o “efeito tubo” da fachada (ver desenho 2).

Um ponto para se observar, que se torna relevante quando há muitos andares, é o encurtamento elástico dos pilares. Conforme são carregados, eles encurtam. “Em números redondos”, conta Graziano, “em 20 andares pode chegar a 60 mm [de encurtamento], já em 40 andares pode chegar a 12 cm, é uma mudança bem sensível.”

Para evitar encurtamento diferente entre pilares, é importante que a relação carga/área do pilar “seja praticamente a mesma em todos os pilares no mesmo andar, em especial para pilares próximos”, avisa Graziano. “Se um pilar encurtou 12 cm, e outro que está muito menos carregado encurtou 6 cm, há um diferencial de 6 cm, o que pode causar um efeito como se fosse um recalque, e fissurar os elementos de ligação”, explica.

Um edifício mais horizontal, por exemplo, sofre mais influência dos recalques diferenciais das fundações: “Como não há muita altura, se houver uma movimentação de um lado, em algum lugar se manifestará a patologia”, comenta Graziano.

A carga térmica também se distribui de forma particular em edifícios altos. Nos andares mais altos a carga térmica é muito concentrada e dilata mais. Nos primeiros andares a dilatação também é maior, por causa da influência dos térreos e da insolação. Os andares intermediários, que são a maior parte de um edifício alto, ficam com um diferencial de temperatura em relação às extremidades.

### Fundações imóveis

Com o aumento da altura e da exposição ao vento, as forças de arraste, os momentos fletores e os momentos torsores acabam sendo maiores. Como consequência, as fundações também ficam mais robustas: “São maiores em termos de dimensão, ou de profundidade, ou ambos”, afirma Milton Golombek.

O projeto é feito da mesma forma: a partir da planta de carga dos pilares, o projetista define a fundação correta. “Essa parte é quase normal”, conta Golombek. Porém, quando se fala em



Está crescendo o mercado de edifícios residenciais de mais de 30 andares. A ênfase dos especialistas é que eles não se comportam como dois de 15

fundações muito grandes, pode haver empecilhos como os tipos de equipamento disponíveis para tal execução.

Os equipamentos disponíveis para execução de hélice contínua, por exemplo, têm diâmetro máximo de 1 m e profundidade de 30 m. Se as cargas exigirem uma estaca de 1,5 m, então deve-se escolher outro tipo de fundação. “A pessoa precisa ter a informação dos equipamentos disponíveis no mercado, a capacidade, informações do solo, variantes de fundação”, frisa Golombek. “Quando se sabe qual equipamento usar, projeta-se para aquele equipamento.” Ou seja, às vezes, o tipo de fundação pode mudar por conta dessas questões práticas.

Outro exemplo de limitação por tamanho são as estacas pré-molda-

das. “A maior pré-moldada utilizada hoje tem diâmetro de 70 cm, e, dependendo da intensidade da carga e dos esforços, ela não atende à obra”, diz Golombek.

Os concretos também têm que mudar. Se fosse utilizado o mesmo concreto de um prédio de 15 andares para um de 40, os pilares teriam uma área muito grande. Para prédios altos, começa a ser usado o concreto de alta resistência.

“É preciso diminuir o tamanho do pilar”, explica Golombek, “e, quando se diminui, ao mesmo tempo aumenta-se a flexibilidade da estrutura. Sendo mais flexível, está mais sujeita a movimentos e deformações”. Isso implica o uso de materiais que aceitam essas deformações, dentro do limite de não enrijecer a estrutura. »

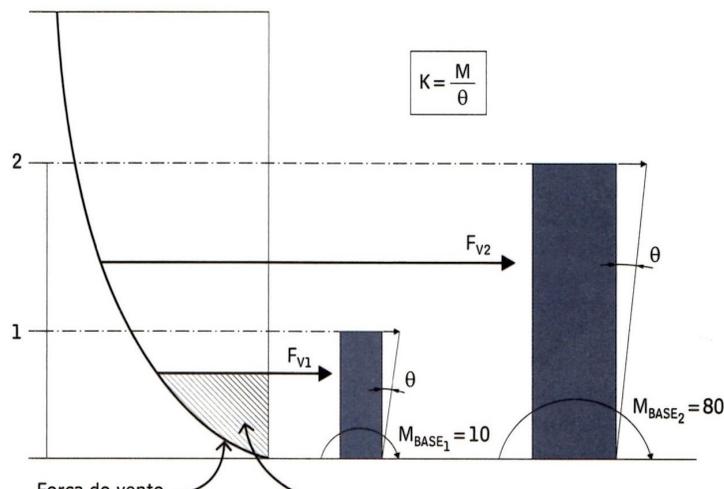
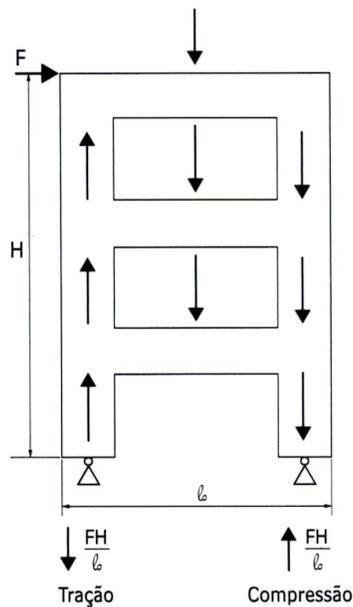


Gráfico 2 – Se, na altura 1, o momento do edifício é 10, na altura 2 esse valor sobe para 80

## PROJETOS



**Desenho 1** – A força do vento provoca tração de um lado e compressão do outro. A força de tração não deve ter intensidade superior àquela devida à força gravitacional

### Residencial x comercial

Uma grande diferença entre edifícios residenciais e comerciais é o número de elevadores. Em edifícios altos, os elevadores ou são maiores ou são em maior número, chegando normalmente até oito. E, no residencial, às vezes os elevadores estão separados: “Destá forma, deixa-se de ter a oportunidade de definir um “core de rigidez”, o que é uma desvantagem nos edifícios de maior altura”, conta Graziano. No comercial, acaba definindo-se melhor este “core de rigidez” semelhante a um grande “shaft vertical”, que pode todo ser utilizado como uma grande estrutura de contraventamento, resultando em uma grande rigidez.

Assim, o núcleo de rigidez desempenha um papel importante na estabilidade do edifício. Quando o prédio é baixo o efeito tubo é irrelevante, porém, quando a altura aumenta este efeito torna-se muito importante. Por outro lado, os encurtamentos elásticos dos pilares, devidos à carga gravitacional, tendem a ser cada vez maiores entre o “core

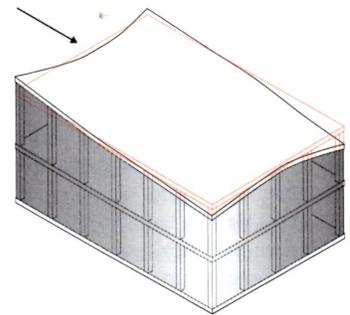


Para mais controle, recomenda-se mais ensaios e mesmo ensaios não convencionais. Aqui, os arames para controle da verticalidade são fixos e espaçados a cada 1 m

de rigidez” e a estrutura de pele. Graças a uma postura arquitetônica/funcional de manter o vão horizontal entre os dois em grandezas da ordem de 10 a 12 m, a rigidez das lajes ou vigas de ligação entre estes torna-se insuficiente para equalizar esta diferença, ocasionando um efeito imperceptível para a estrutura, afirma Graziano.

Há, também, diferenças entre os dois tipos de edifício quanto à rotina dos usuários. O fluxo de pessoas em prédios comerciais é muito concentrado no começo e final do dia e horário de almoço. As exigências de velocidade de elevador são mais complicadas. O volume de gente é muito grande em um espaço curto de tempo, e, se o prédio é muito alto, fica difícil os elevadores darem conta. Os edifícios mais altos do projetista agora são residenciais.

Edifícios residenciais têm mais opções para receber os pilares sem interferir na arquitetura, enquanto os comerciais normalmente apresentam vãos maiores. Com menos pilares, há mais carga, e as fundações são mais pesadas. “Um prédio comercial com mesma altura e volume tem fundações mais pesadas que o residencial”, afirma Golombek. Para solucionar esta questão, pode-se executar fundações de maior dimensão e mais profundas, ou aumentar o número de estacas.



**Desenho 2** – Muitos pilares, unidos por vigas, acabam funcionando de uma maneira tridimensional, como se fosse uma casca externa, um tubo. Quando o prédio é mais alto, esse efeito se manifesta de forma mais importante, porque os pilares encurtam bastante e fazem as vigas trabalharem conjuntamente. A fachada inteira trabalha no sentido de favorecer a rigidez

Já o residencial apresenta mais oportunidades para se criar vigas, devido às compartimentações. Isso cria um sistema estrutural com mais elementos. “Acredito que o edifício residencial vai sempre ser mais rígido”, conta Graziano. “Em um comercial Triple A, normalmente a rigidez é menor, as lajes são mais flexíveis”, complementa. <<

Luciana Tamaki