

Análise comparativa de sistemas verticais de estabilização e a influência do efeito P- Δ no dimensionamento de edifícios de andares múltiplos em aço

Aline Tabarelli

Engenheira Civil pela UFSM/RS - E-mail: atabarelli@bol.com.br

Ernani Carlos de Araújo

Professor D.Sc., Departamento de Engenharia Civil, Escola de Minas/UFOP - E-mail: ecar@em.ufop.br

José Antônio Soares Prestes

Engenheiro especializado em estruturas metálicas

Resumo

Nesse trabalho apresenta-se um estudo comparativo entre os sistemas de estabilizações verticais em pórticos rígidos e os sistemas em treliças em 'K' e em 'X'. A eficiência estrutural é analisada através do relacionamento entre o número de pavimentos com os deslocamentos horizontais, esforços solicitantes e os perfis adotados no dimensionamento dos modelos. Nos sistemas rígidos, os esforços solicitantes e os deslocamentos horizontais são maiores do que nos sistemas contraventados. Nesse caso, leva-se a estruturas mais pesadas e, portanto, menos econômicas. A partir de 24 pavimentos, para se garantirem deslocamentos aceitáveis nos modelos rígidos, a rigidez necessária do sistema fica impraticável. Usaram-se as teorias linear e não-linear (Efeito P- Δ) para análise comparativa dos modelos adotados. Nesse contexto, verificou-se que a análise não-linear é fundamental para os modelos com maior número de pavimentos, pois proporciona resultados de esforços e deslocamentos mais coerentes.

Palavras-chaves: Contraventamentos, pórticos rígidos, treliças, edifícios, aço.

Abstract

This paper compares rigid-frame vertical bracing systems against "K" or "X" truss systems, according to height variation. The adopted models used were based on technical information from a standard project. Structural efficiency was analyzed by comparison of the ratio of the number of pavements to their horizontal dislocation, structural strain and profiles adopted in dimension models. In the rigid-frame vertical bracing systems, structural strain and horizontal dislocation were greater than in the truss systems. The rigid-frame vertical bracing system also requires more steel, providing for a heavy, less economic structure. After 24 floors, the rigid-frame vertical bracing system becomes impracticable, since at this point it no longer meets acceptable dislocation standards. For structural calculations, comparisons between the linear and non-linear analysis (P- Δ effect) were used. It was concluded that non-linear analysis should be considered in the design of buildings, particularly those very tall, since it indicates true strain and major structural displacement. This paper proves that there are advantages in using the truss systems for multiple-story buildings and that it is necessary to analyse the P- Δ effect for more efficient building design.

Keywords: Bracing, trusses, frames, building, steel.

Artigo recebido em 12/07/2002 e aprovado em 05/11/2002.

1. Introdução

Com a globalização da economia, a automação industrial, as informatizações dos procedimentos de projetos de engenharia e com o atual déficit habitacional, o mercado das estruturas metálicas vem crescendo. Para que as estruturas tornem-se competitivas, deve-se buscar a melhor solução que atenda as condições de segurança e de economia. O projeto de menor custo é o mais atraente e é o que melhor compete com outros materiais e com as novas tecnologias construtivas, desde que alie as condições de eficiência e segurança. Diversos fatores influenciam o custo final da estrutura em aço. Entre eles, salientam-se a seleção do sistema estrutural; o projeto dos elementos individuais; o projeto e o detalhamento das ligações; o processo de fabricação e o sistema de montagem; as especificações para fabricação e montagem e os sistemas de proteção ao fogo e à corrosão (Bellei, 1998). Dentro da seleção do sistema estrutural adequado, Taranath (1988) afirma que a eficiência desse sistema está relacionada ao consumo de aço. O consumo de aço extra está relacionado com a parcela de peso total da estrutura necessária ao enrijecimento, para resistir às cargas laterais, ou seja, com o sistema vertical de estabilização.

Os sistemas de estabilizações das edificações ou contraventamentos garantem a rigidez da estrutura quanto à solicitação de cargas horizontais ou excentricidade vertical. Tanto para edifícios de cobertura quanto para edifícios de múltiplos andares, essa rigidez é obtida através de, no mínimo, três planos verticais não simultaneamente paralelos. As lajes moldadas "in loco" podem ser consideradas sistemas de contraventamento horizontal porque formam um diafragma rígido. No entanto, as lajes pré-moldadas e as metálicas (Steel Deck) devem ser usadas com precaução, quando se pretende que este mesmo efeito seja atingido. Os sistemas de contraventamentos verticais podem ser obtidos através de vários tipos de modelos, como, por exemplos: os sistemas em pórticos rígidos, os sistemas em pórticos treliçados, os sistemas treliçados com a adição de uma treliça em balanço, os sistemas tu-

bulares e os sistemas com núcleo rígido em concreto ou em aço.

2. Materiais e Métodos

Projeto Arquitetônico

Utilizou-se um projeto arquitetônico padrão baseado no Edifício Piemonte (Prestes, 2000). Esse edifício possui 8 pavimentos com dimensões de 62.83m de comprimento, 15m de largura e 3.3m de altura de piso a piso. A estabilidade transversal da obra foi garantida por meio de quatro pórticos rígidos e a longitudinal, por meio de um pórtico contraventado em delta na região dos elevadores.

Como a estabilização transversal é a mais crítica, devido às características geométricas do projeto, optou-se pela análise do sistema somente nessa direção. Os pórticos analisados foram os centrais, por serem os mais rígidos e representarem a situação mais crítica, pois absorvem as maiores ações devido ao vento. Considerou-se a estrutura simétrica para evitar análises dos efeitos da torção na edificação.

Modelos Estruturais

Para os sistemas de estabilizações verticais, adotaram-se modelos rígidos, em treliças (em 'K' e em 'X') para alturas variadas. A escolha do número de pavi-

mentos foi baseada na variação da ação do vento com a altura, da influência das proporções e forma da edificação e da variação do coeficiente de arrasto no cálculo do vento segundo a Norma Brasileira NBR 6123/90. Escolheram-se, para análises, os modelos de 8, 16, 24, 36 e 48 pavimentos.

As Figuras 1, 2 e 3 mostram os modelos rígidos, treliçado em 'K' e em 'X' para o modelo de 8 pavimentos. Os demais modelos representam a mesma configuração, apenas variando a altura. Para o modelo rígido, a estrutura foi gerada com nós rígidos, ou seja, engastados e, para os modelos treliçados, as colunas foram geradas contínuas e só as vigas e as diagonais foram adotadas birrotuladas.

Os modelos foram dimensionados como vigas-colunas, ou seja, à flexão e à compressão, apesar de os modelos contraventados possuírem suas ligações rotuladas e, em teoria, não liberarem momentos; na prática, as ligações não podem ser consideradas totalmente engastadas e totalmente rotuladas, portanto os dois modelos liberam, em suas ligações, os dois esforços.

Cargas estruturais

As Tabelas 1 e 2 mostram as cargas estruturais usadas no dimensionamento da estrutura para os vários modelos.

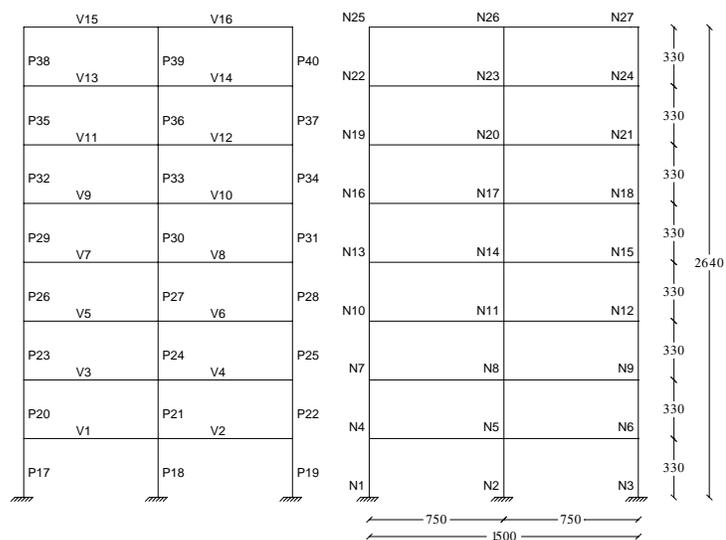


Figura 1 - Modelo Rígido para 8 pavimentos, onde P representa pilar ou coluna, V = viga e N = número de nós.

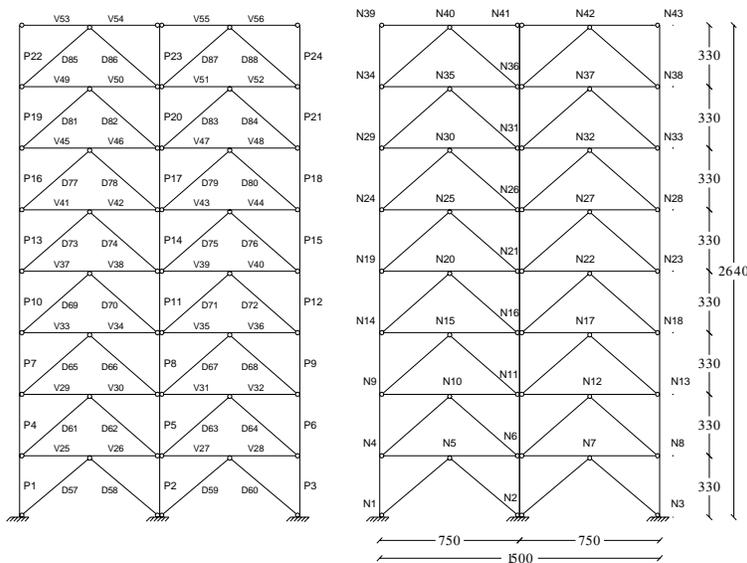


Figura 2 - Modelo Contraventado em Delta para 8 pavimentos, onde P representa pilar ou coluna, V = viga, D = diagonal e N = número de nós.

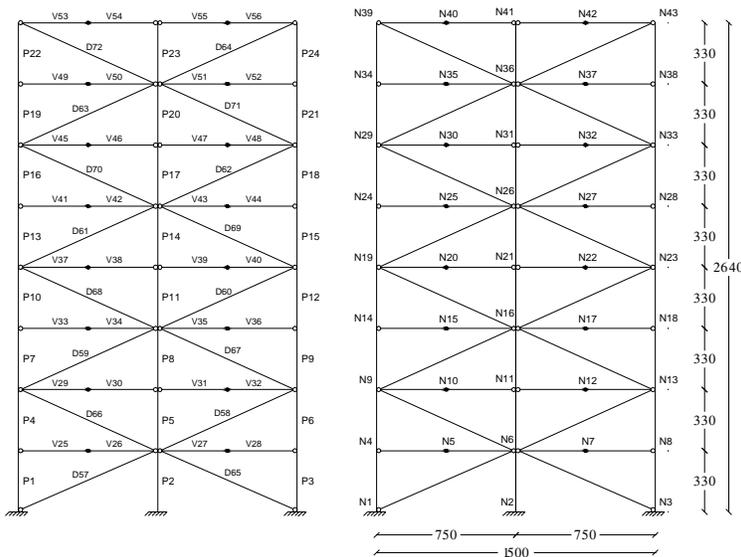


Figura 3 - Modelo Contraventado em 'X' para 8 pavimentos, onde P representa pilar ou coluna, V = viga, D = diagonal e N = número de nós.

Tabela 1 - Carga de Nó (kN).

	Carga Permanente	Sobrecarga
Nós Centrais - Piso	31.78	10
Nós Externos - Piso	66.05	52
Nós Centrais - Cobertura	9.5	3.75
Nós Externos - Cobertura	49.5	9.375

Tabela 2 - Carga nas Barras (kN/m).

	Carga Permanente	Sobrecarga
Piso	19.304	15.20
Cobertura	14.44	5.70

Para todos os modelos, as cargas de vento foram calculadas segundo a norma NBR6123/90 e as cargas da casa de máquinas e do reservatório de água foram consideradas nos nós da cobertura, sendo, no nó central, adotado 50% da carga total e, nos nós de extremidade, 25%, mantendo, assim, a simetria.

Análise linear e não linear

Para o cálculo de esforços e dimensionamentos da estrutura, foram utilizados os softwares GT STRUDL (25), Desmet (2.05) para a análise linear (Tabarelli, 2002). Para o cálculo do efeito P-Δ, no dimensionamento estrutural, usou-se o método da norma canadense do Canadian Institute of Steel Construction (CISC), o qual representa o método da carga fictícia com apenas uma iteração (Eq.1). A Norma Brasileira NBR 8800/86 apresenta esse método em uma versão mais trabalhosa, sugerindo várias iterações para se chegar no mesmo resultado proposto pela Norma Canadense.

$$V_i = \frac{1}{\frac{1}{\Sigma P_i(\Delta_{i+1} - \Delta_i)} - \frac{1}{\Sigma V_i}} \quad \text{Eq. 1}$$

Na Equação (1), ΣP_i é o somatório das forças verticais no andar; ΣV_i é o somatório das forças horizontais no andar; Δ é o deslocamento de primeira ordem dos pavimentos e i é o pavimento em que se está trabalhando.

3. Resultados

Os Gráficos de 1 a 5 comparam os resultados obtidos após o dimensionamento de todos os modelos. O Gráfico 1 foi gerado com os resultados do modelo rígido, mas a mesma relação ocorre para os modelos contraventados. Para os modelos rígidos, pela análise não linear, a diferença nos deslocamentos e, portanto, nos esforços (Gráfico 2) é mais expressiva do que nos contraventados, quando comparada pelo mesmo tipo de análise. Os esforços máximos normais, o cortante e o momento fletor, para os modelos, são maiores na análise não linear, muitas vezes invalidando os resulta-

dos encontrados na análise linear, mas somente o gráfico do momento fletor máximo é mostrado, por ser este o esforço nas barras determinante para os cálculos.

O modelo rígido possui deslocamentos maiores que os modelos contraventados, por isso é chamado de pórtico deslocável.

4. Conclusões

1. O sistema rígido, quando comparado com o sistema contraventado, está sujeito a maiores esforços solicitantes e deslocamentos horizontais, levando-se a um consumo maior de aço.
2. Durante o processo de dimensionamento, verificou-se que, na medida em que se aumenta a altura do edifício, o aumento da rigidez para modelos rígidos ocorre com o aumento da rigidez das vigas e, para os modelos contraventados, com o aumento da rigidez das diagonais.
3. Quando foram comparados os modelos de carga de vento concentrada nos nós e os modelos com carga de vento linearmente distribuída na estrutura, este último modelo apresentou esforços e deslocamentos maiores. Isso significa que o modelo de vento linearmente distribuído é mais crítico e mais real.
4. Na medida em que se aumenta a altura da edificação, os modelos rígidos tornam-se incompatíveis com a prática, pois, os perfis dimensionados ficam fora dos limites aceitáveis.
5. O modelo contraventado em Delta é mais leve que o modelo em X por apresentar um terceiro apoio na viga; assim, reduzem-se os esforços e o peso da estrutura.
6. No dimensionamento de edifícios de andares múltiplos, principalmente os mais altos, a análise não linear (efeito P- Δ) é a mais indicada, já que os seus esforços e deslocamentos são maiores do que os obtidos pela análise linear. Portanto uma estrutura dimensionada em análise linear muitas vezes não estará dentro dos limites daqueles da análise não linear.

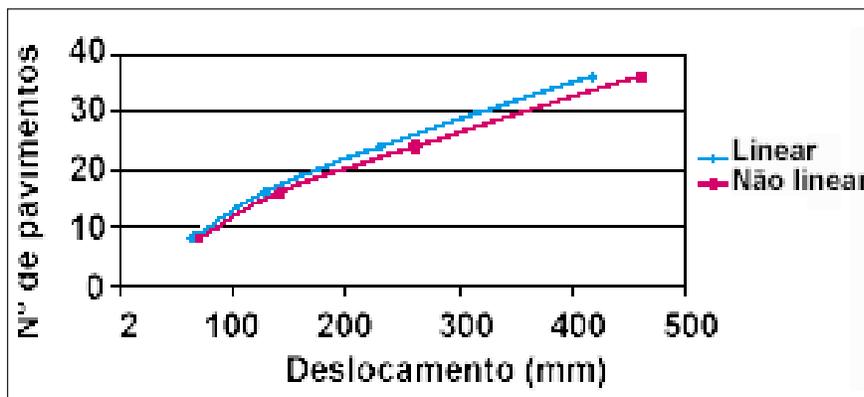


Gráfico 1 - Número de Pavimentos X Deslocamento - por análise linear e não linear - modelo rígido.

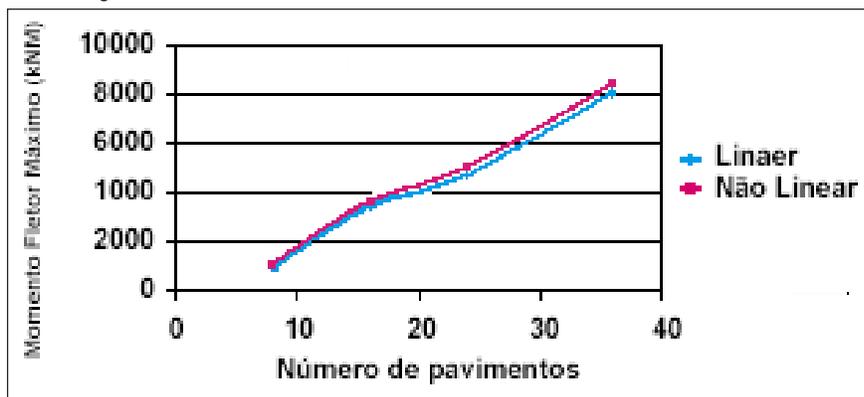


Gráfico 2 - Momento Fletor Máximo X Número de Pavimentos - por análise linear e não linear - modelo rígido.

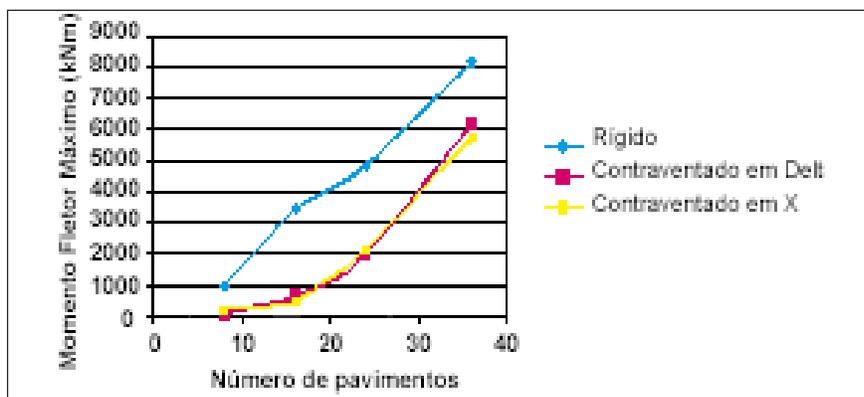


Gráfico 3 - Momento Fletor Máximo X Número de Pavimentos - para os vários modelos.

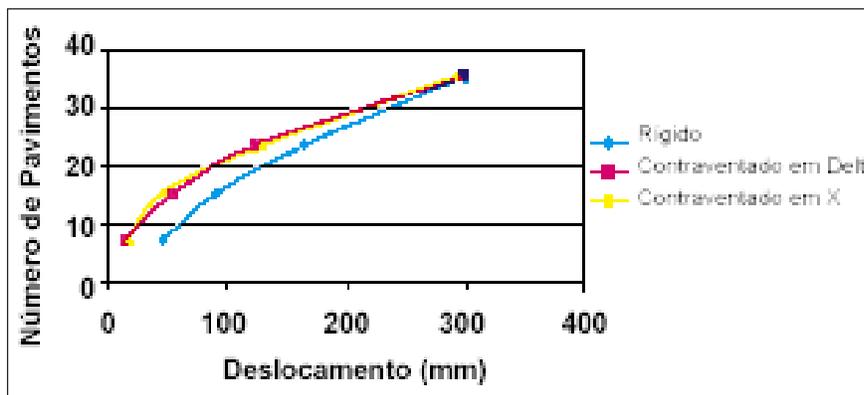


Gráfico 4 - Número de Pavimentos X Deslocamento - para os vários modelos.

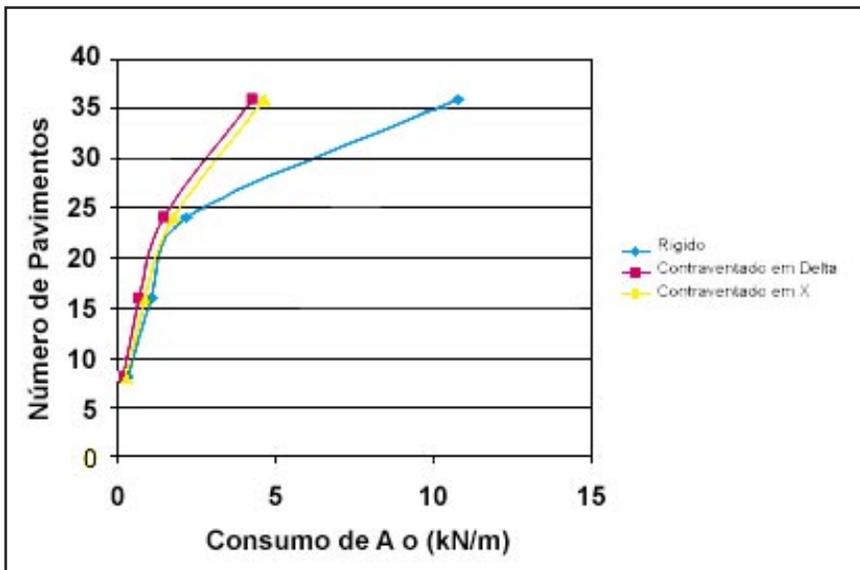


Gráfico 5 - Consumo de Aço para os vários modelos.

7. Por exigir apenas uma iteração, o Método Canadense de análise do efeito $P-\Delta$ é mais simples do que o utilizado

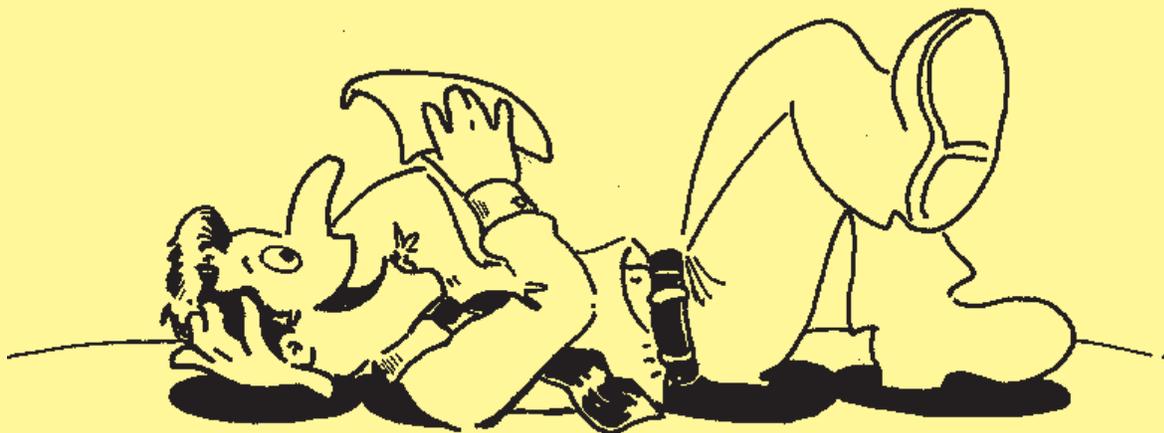
pela NBR 8800/86. Os resultados obtidos pelo método da carga fictícia apresentam um erro de 3%, quando com-

parados com os cálculos de análise não linear realizados pelo Método dos Elementos Finitos através do programa computacional Ansys (5.6). [Tabarelli, 2002].

Referências Bibliográficas

- [1] PRESTES, J. A. S. Edifício Piemonte. *Revista da Escola de Minas*, v.53, n.13, p.175-180, 2000.
- [2] BELLEI, I. H. *Edifícios industriais em aço - projeto e cálculo*, São Paulo: Pini, 1988. 489 p.
- [3] TARANATH, B. S. *Structural analysis and design of tall buildings*, New York: Mac Graw - Hill, 1988. 739 p.
- [4] TABARELLI, A. *Análise comparativa de sistemas verticais de estabilização e a influência do efeito $P-\Delta$ no dimensionamento de edifícios de andares múltiplos em aço*. Universidade Federal de Ouro Preto, 2002. 139p. (Dissertação de Mestrado).

Assinatura da REM



A Rem sabe o quanto VOCÊ é importante.