

## ANÁLISE NÃO LINEAR DE EDIFÍCIOS TUBULARES SUJEITOS AS CARGAS DEVIDAS AO VENTO

Rodrigo Bolzon Nakano (PIBIC/CNPq/FA/UEM), Nara Villanova Menon (Orientadora), email: [nvmenon@uem.br](mailto:nvmenon@uem.br)

Universidade Estadual de Maringá / Centro de Tecnologia / Maringá, PR.

### Engenharia Civil – Estruturas – Mecânica das Estruturas

**Palavras-chave:** Edifícios Altos, Modelagem computacional, Análise Não Linear, Contraventamentos

### Resumo

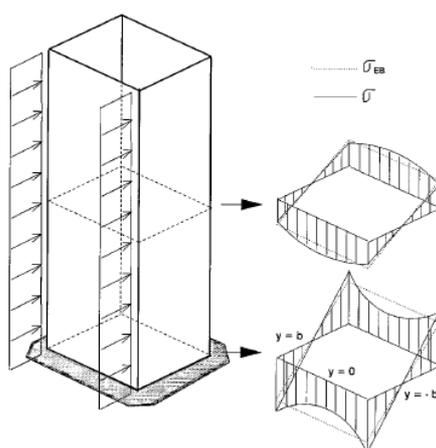
Este artigo apresenta as análises não lineares de diferentes modelos estruturais tubulares, fazendo-se comparativos com as análises lineares dos mesmos modelos, juntamente com uma avaliação do efeito *Shear Lag*. A análise não linear incluiu a determinação dos deslocamentos horizontais dos nós das estruturas, os esforços normais de compressão em pilares e os momentos fletores atuantes nas bases engastadas. Para o cálculo desses esforços utilizou-se o software SAP 2000 (v.19), por meio de ferramentas que este oferece, como o método dos elementos finitos (MEF). Foram analisados quatro diferentes modelos estruturais, considerando-se a não linearidade física e geométrica dos elementos sujeitos às cargas de vento. Os resultados mostraram melhor comportamento das estruturas contraventadas para os esforços solicitantes e deslocamentos horizontais. Já o efeito *Shear Lag* apresentou-se com diferentes formas ao longo dos pavimentos dos modelos estruturais, mostrando inversões de concavidade. O estudo feito mostrou-se relevante, pois confirmou que os contraventamentos são eficientes para absorção de esforços solicitantes e deslocamentos das estruturas. Além disso, evidenciou que a não linearidade das estruturas influencia nos resultados obtidos e que o efeito *Shear Lag* tem variações em relação à sua concavidade ao longo da altura de uma mesma estrutura de edifício alto.

### Introdução

O sistema tubular é um sistema estrutural que induz o edifício a se comportar como um tubo equivalente. O pórtico tubular é conseguido através de pilares e vigas altas pouco espaçadas entre si em todo o perímetro do edifício (DA SILVA, 2010).

O conceito de tubo ideal está intimamente ligado à rigidez das vigas e dos pilares utilizados na estrutura, sendo que dependendo dessa rigidez, é possível avaliar em que proporção essa estrutura tubular se aproxima do tubo ideal de máxima eficiência. Afirma-se que uma distribuição mais uniforme das forças normais nos pilares (menor efeito *Shear Lag*) e menores deslocamentos externos no edifício o tornam mais eficiente (MANCINI, 1980).

Pelo efeito *Shear Lag* há um aumento da força normal nos pilares de canto e próximos a eles, e uma redução desta força nos demais pilares, relativamente aos esforços que deveriam ocorrer se houvesse um tubo ideal. Logo, a distribuição de forças normais tem a forma aproximada de uma parábola cúbica nos pórticos paralelos à direção do carregamento e de uma parábola quadrática nos pórticos perpendiculares a esta direção (FAKURY, 1986). Na figura 1 é apresentado um comportamento geral do efeito *Shear Lag*.



**Figura 1:** Comportamento geral do *Shear Lag* nos pilares de canto e de meio de um edifício tubular (DA SILVA, 2010).

Adotando-se diferentes soluções estruturais (contraventamentos) como reforços a carregamentos horizontais, deve-se avaliar se estas são eficientes tanto estruturalmente quanto economicamente. Nesse trabalho são feitas avaliações de modelos de tubos ligados a um pórtico tubular (sistema de duplo tubo), para que seja analisado o quanto cada um deles acrescenta de resistência ao pórtico tubular submetido aos esforços horizontais de vento. Nessa pesquisa são estudadas estruturas de 15 pavimentos submetidas ao efeito do vento, de acordo com a NBR 6123/1988.

Os efeitos de 2ª ordem estão ligados ao concreto armado apresentar um comportamento não linear em relação à sua constituição. A não linearidade física está relacionada ao comportamento do material, que no caso do concreto armado é não linear. Os efeitos causados pela fluência, retração e fissuração do concreto afetam o valor final do módulo de elasticidade, mostrando sua não linearidade física. Já a não linearidade geométrica está ligada às mudanças que possam ocorrer na geometria dos elementos

estruturais com a estrutura já deformada, utilizando-se a metodologia P-Delta (FREITAS; LUCHI; FERREIRA, 2016).

## Materiais e métodos

Os modelos estruturais estudados na pesquisa foram os seguintes: estrutura tubular com grelhas; estrutura tubular com grelhas ligadas a paredes resistentes; estrutura tubular com grelhas ligadas a núcleo em U (posição 1); tubular com grelhas ligadas a núcleo em U (posição 2). Todas as modelagens foram feitas para 15 pavimentos.

Utilizou-se o software SAP 2000 (v. 19), o qual engloba o método dos elementos finitos (MEF) para cálculo dos esforços solicitantes nas modelagens estruturais. Através desse programa computacional obteve-se os esforços normais de compressão nos pilares, momentos fletores nas bases engastadas e deslocamentos horizontais dos nós das estruturas. Por meio dos esforços normais obtidos nos pilares foi possível avaliar o efeito *Shear Lag* em diferentes pavimentos das modelagens.

A não linearidade geométrica foi obtida por meio do comando *Non Linear Static* do SAP 2000 (v.19), o qual engloba a metodologia P-Delta para o carregamento de vento calculado através da NBR 6123/1988. Já a não linearidade física foi considerada na redução de 20% do módulo de elasticidade inicial do concreto C40 utilizado nas estruturas. Com isso possibilitou-se a análise não linear das modelagens estruturais.

## Resultados e Discussão

Os resultados mostraram que os modelos estruturais mais contraventados possuíam menores esforços solicitantes em seus elementos estruturais. Além disso, os esforços solicitantes para análise não linear das estruturas com grelhas ligadas a núcleo em U foram menores do que os esforços correspondentes à análise linear, o que não ocorreu nos dois modelos menos contraventados.

O efeito *Shear Lag* apresentou diferentes comportamentos ao longo dos pavimentos das estruturas, pois a partir de determinados níveis superiores houve inversão de concavidade para os esforços de compressão nos pilares de canto e do meio, para as quatro modelagens estruturais.

Os deslocamentos horizontais foram menores para as estruturas mais contraventadas, e superiores na análise não linear dos mesmos modelos estruturais em relação à análise linear.

## Conclusões

Através dos resultados comprovou-se que conforme as modelagens estruturais são mais contraventadas, mais eficientes estas se tornam em relação à resistência aos esforços solicitantes e aos deslocamentos

horizontais nos elementos estruturais. Isso se deve a uma boa absorção de esforços por parte dos núcleos ligados às grelhas.

A análise não linear para as estruturas com grelhas ligadas a núcleo em U indicou menores esforços solicitantes do que a análise linear, pois a metodologia P-Delta pode conduzir a esse tipo de resultado, quando determinados modelos estruturais são mais contraventadas. Para análise não linear de deslocamentos horizontais têm-se resultados esperados, em que a não linearidade física do concreto influenciou no aumento de tais deslocamentos nas estruturas.

Os estudos do efeito *Shear Lag* também se mostraram relevantes, pois a inversão de concavidade nos esforços de compressão em pilares de meio e de canto, ao longo dos pavimentos das estruturas, evidenciou a influência que as cargas devidas ao vento exercem em função da altura de um edifício.

## Agradecimentos

Agradeço a Fundação Araucária pelo apoio financeiro e institucional, à professora orientadora Nara Villanova Menon e à minha família pelo apoio dado durante a realização dessa pesquisa.

## Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6123: Forças devido ao vento em edificações**. ABNT, Rio de Janeiro, 1988.

DA SILVA, E. F. D. P. **Desempenho estrutural de edifícios de grande altura: Comparação entre métodos expeditos e modelo computacional**. 217f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas). Universidade do Porto, Porto, 2010.

FAKURY, R. H. **Comportamento das Estruturas Tubulares de Edifícios Altos Sob Carregamento Lateral**. 338f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas). Escola de Engenharia de São Carlos – USP, São Carlos, 1986.

FREITAS, F. C.; LUCHI, L. A. R.; FERREIRA, W. G. Análise da estabilidade global das estruturas e ações de controle dos seus efeitos. **Revista Ibracon**. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, 2016.

MANCINI, E. **Estruturas Tubulares de Edifícios Altos**. Escola de Engenharia de São Carlos - USP, 1980.