

# INFLUÊNCIA DAS IMPERFEIÇÕES GEOMÉTRICAS INICIAIS NOS EFEITOS DE SEGUNDA ORDEM

Aluno: *Thatiane Mitie Nogi*<sup>1</sup>, Orientador: *Bruno Eizo Higaki*<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Engenharia Civil, Centro Universitário da FEI

[thati.nogi@hotmail.com](mailto:thati.nogi@hotmail.com); [bruno.higaki@fei.edu.br](mailto:bruno.higaki@fei.edu.br)

**Resumo:** Este trabalho tem como objetivo comparar os diversos tipos de análises em pórticos planos de aço, tais como: análise de 2ª ordem pelo método simplificado de amplificação dos esforços solicitantes (B1 e B2) e pelo método dos elementos finitos (MEF). Foi realizada, também, a consideração, no método dos elementos finitos, das imperfeições geométricas iniciais (locais e globais) – pelo método da aplicação de forças nocionais e pelo de modelagem dos nós das estruturas em uma posição deslocada inicialmente.

## 1. Introdução

A análise estrutural é baseada em modelos matemáticos complexos que precisam considerar idealizações para simplifica-los, no entanto, quanto mais idealizações são consideradas, mais os resultados se afastam do comportamento real da estrutura. Sendo assim é necessário encontrar a melhor análise estrutural para cada estrutura, afim de diminuir custos e ganhar tempo na realização do projeto estrutural.

A análise estrutural pode ser dividida quanto ao material, podendo ser elástico ou inelástico e quanto a estabilidade da estrutura, sendo uma análise linear (1ª ordem) ou não-linear (2ª ordem). Neste trabalho foram comparadas análises de 2ª ordem elástica realizadas por diversos métodos.

## 2. Metodologia

Utilizou-se o programa ANSYS 18.2, que é baseado no MEF para realizar as análises de 2ª ordem dos pórticos. Determinou-se o número de elementos da malha testando diferentes malhas até se obter a convergência dos resultados, encontrando a malha de dez elementos para os pilares e vinte para as vigas. Dessa forma os pórticos analisados nesse projeto têm 0 o mesmo refinamento de malha.

Seguindo as recomendações da NBR 8800:2008 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, para determinar qual tipo de análise deve ser empregado para cada estrutura conforme o seu grau de deslocabilidade. A estrutura é classificada de pequena deslocabilidade quando a relação entre os deslocamentos de 2ª ordem e de 1ª ordem não ultrapassarem 1,1 em todos os pavimentos, de média de deslocabilidade quando a relação entre os deslocamentos da estrutura estiver entre 1,1 e 1,4 em pelo menos um dos pavimentos e de grande deslocabilidade quando essa relação ultrapassar 1,4 em pelo menos um dos pavimentos. Dessa forma, recomenda-se segundo a NBR8800:2008 para estruturas de pequena deslocabilidade, uma análise de 1ª ordem elástica, já para as estruturas com média deslocabilidade é recomendado uma análise de 2ª ordem elástica e por

fim, para as estruturas de grande deslocabilidade deve-se realizar uma análise de 2ª ordem rigorosa (levando em consideração a não-linearidade geométrica e material) ou o responsável pode optar por fazer a mesma análise de uma estrutura com média deslocabilidade considerando as imperfeições geométricas iniciais.

Foram realizadas comparações entre os diversos tipos de análises em relação a análise pelo método de modelagem dos nós das estruturas em uma posição deslocada inicialmente, por essa análise ser a mais precisa e rigorosa, obtendo assim os resultados mais próximos do comportamento real das estruturas.

Todas as análises consideraram as imperfeições do material, ou seja, sofreu uma redução de 80% da rigidez a flexão axial da barra.

## 3. Resultados

O pórtico estudado neste trabalho está ilustrado na Figura 1.

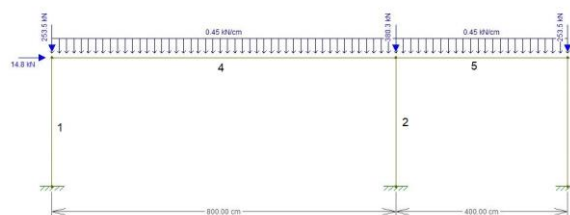


Figura 1 – Pórtico

O pórtico representado pela Figura 1 possui pilares (barras 1,2 e 3) com perfil de aço de seção W360x72 e vigas com perfil de aço de seção W250x73.

Segundo a NBR8800:2008, a Tabela 1 apresenta a classificação da estrutura quanto a deslocabilidade.

Tabela 1 – Classificação da estrutura quanto a deslocabilidade

Deslocamento [cm]			
1º Ordem	2º Ordem	Relação	Classificação
0,35	0,38	1,09	Pequena deslocabilidade

Como a relação entre os deslocamentos de 2ª ordem e de 1ª ordem não ultrapassou o valor de 1,1, está estrutura é classificada como de pequena deslocabilidade. Sendo assim, espera-se que uma análise de 1ª ordem elástica seja o suficiente para encontrar resultados que se aproximem do comportamento real de forma adequada.

A Figura 2 apresenta a comparação dos resultados de todas as análises.

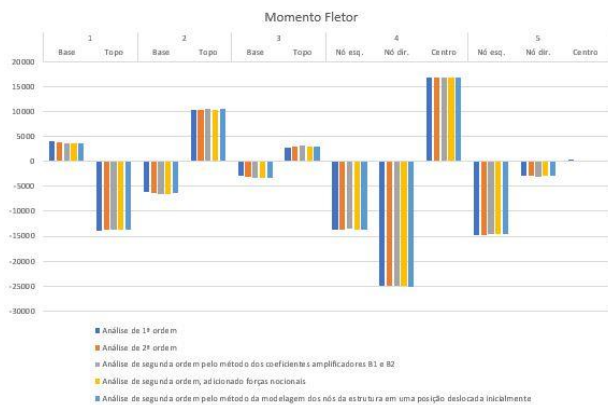


Figura 2 – Resultados referentes a análise de modelagem dos nós da estrutura em uma posição deslocada inicialmente.

Com os resultados apresentados na Figura 2 é possível perceber que no nó direito da barra 4 é o ponto mais solicitado da estrutura, sendo assim nesse ponto foi realizado a comparação entre os diversos tipos de análises.

A Tabela 2 apresenta a diferença percentual entre os métodos analisados em relação ao método de modelagem dos nós das estruturas em uma posição deslocada inicialmente, sendo incluso a análise de 1ª ordem, como é recomendado pela NBR8800:2008 devido a classificação de pequena deslocabilidade que esta estrutura apresenta.

Tabela 2 - Diferença percentual entre os diferentes métodos de análises estudados

DIFERENÇA [%]			
A/E	B/E	C/E	D/E
-1,04	-0,38	-0,44	-0,51

Onde:

A - Análise de primeira ordem;

B - Análise de segunda ordem;

C - Análise de segunda ordem pelo método dos coeficientes amplificadores B1 e B2;

D - Análise de segunda ordem, adicionado forças nocionais;

E - Análise de segunda ordem pelo método da modelagem dos nós da estrutura em uma posição deslocada inicialmente.

#### 4. Conclusões

O pórtico analisado foi classificado como de pequena deslocabilidade, sendo recomendado pela NBR8800:2008 uma análise de 1ª ordem elástica.

Observando os resultados da Tabela 2, é possível concluir que esse pórtico atende essa recomendação, possuindo uma diferença muito pequena e a favor da segurança em relação a análise mais precisa.

Pode-se concluir dessa forma, que estruturas de pequena deslocabilidade não necessitam de análises estruturais complexas, gerando resultados satisfatórios que correspondem ao comportamento real da estrutura com uma análise mais simples, como a de 1ª ordem.

#### 5. Referências

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800: execução de estruturas de aço de edifícios. Rio de Janeiro, set. 2008.
- [2] ALVARENGA, A.R. A configuração geométrica inicial na análise avançada de portais planos de aço. 2006. 197 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Minas- UFOP, Ouro Preto, Minas Gerais, 2006.
- [3] ALVARENGA, A.R.; SILVEIRA, R.A.M. A configuração geométrica inicial na análise avançada de portais planos de aço. Rem: Rev. Esc. Minas, v. 59, n. 2, abr./jun. 2016. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0370-44672006000200008](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672006000200008)>. Acesso em: 25 jul. 2017.
- [4] CAMARGO, R.E.M. Contribuição ao estudo da estabilidade de edifícios de andares múltiplos em aço. 2012. 312 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012
- [5] DÓRIA, A.S. Análise da Estabilidade de Pórticos Planos de Aço com Base no Conceito de Forças Horizontais Fictícias. 2007. 107 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
- [6] HIGAKI, B. E. Contribuição à análise estrutural de edifícios de aço com ênfase nas ligações semi-rígidas. 2014. 284 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.
- [7] KANASHIRO, G.F. Estudo dos efeitos de segunda ordem em pórticos planos de aço. 2017. 77 f. Iniciação científica – Centro Universitário FEI, São Bernardo do Campo, 2017.
- [8] SILVA, R.G.L. Análise Inelástica Avançada de Pórticos Planos de Aço Considerando as Influências do Cisalhamento e de Ligações Semirrígidas. 2010. 292 f. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.
- [9] SOUZA, A.S.C. Análise da estabilidade de edifícios de andares múltiplos em aço. 2009. 116 f. Iniciação científica – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.

#### Agradecimentos

À instituição Centro Universitário FEI por possibilitar a realização da pesquisa e pela concessão da bolsa.

<sup>1</sup> Aluno de IC do Centro Universitário FEI. Projeto com vigência de 08/17 a 09/18.