

## 6 Conclusões e sugestões

### 6.1. Conclusões

Esta dissertação apresenta recomendações práticas sobre as análises das diferentes tipologias de estruturas de treliças para projetos de galpões industriais. Na abordagem do estudo foi dado um maior destaque às análises dos efeitos de segunda ordem, apresentando-se o método de análises simplificado MAES proposto pela ABNT NBR800:2008 e a análise avançada efetuada através do programa *Autodesk Robot Structural Analysis Professional*, junto com a consideração das imperfeições iniciais na análise global elástica das estruturas.

Após a realização das análises, as comparações dos resultados são expostos. A partir desses resultados realizou-se o estudo paramétrico de dimensionamento de acordo a ABNT NBR880:2008 para os 42 modelos de galpões considerados.

Considerou-se a modelagem em 2D e 3D. Conclui-se que é mais conveniente trabalhar com modelos 2D para este tipo de estruturas industriais. Observando a convergência dos resultados das solicitações e os deslocamentos obtidos entre os modelos de análises.

Observa-se nos modelos que a transformação das ligações articuladas em nós rígidos normalmente não resulta a uma variação dos esforços axiais nos elementos das treliças. Outro ponto da modelagem a considerar é que este tipo de estrutura não requer modelos muito refinados para uma análise de qualidade.

As análises de segunda ordem com aplicação do método simplificado MAES e através do programa *Autodesk Robot Structural Analysis Professional* realizadas para diferentes tipologias de sistemas treliçados classificadas como média deslocabilidade foram consistentes e obtiveram resultados semelhantes para os esforços solicitantes.

A aplicação do MAES resulta em um procedimento extenso, que trata uma grande quantidade de análises de primeira ordem realizadas para cada uma das estruturas (original, nt e lt) e para cada uma das combinações. Embora seja um método simplificado e didático, seu uso em estruturas correntes não é prático comparado aos métodos disponíveis em softwares de cálculo que efetuam a análise de segunda ordem.

A classificação da estrutura quanto à sensibilidade de deslocamentos laterais foi realizada pelos dois métodos: com a relação dos deslocamentos laterais  $\Delta_{2^{\circ}\text{Ordem}}/\Delta_{1^{\circ}\text{Ordem}}$  e através dos coeficientes  $B_2$ . Notou-se uma discrepância entre os dois procedimentos previstos na ABNT NBR880:2008 em relação a determinação das combinações em que determinam a classificação como de média deslocabilidade. A classificação feita com a relação  $\Delta_{2^{\circ}\text{Ordem}}/\Delta_{1^{\circ}\text{Ordem}}$  é mais conservadora.

Nas análises comparativas entre os diferentes tipos de análises estruturais realizados, em relação aos resultados das análises de primeira ordem e segunda ordem, observou-se a proximidade entre os resultados dos esforços máximos solicitantes em todos os casos de treliças analisadas. Isso indica que a influência dos efeitos de segunda ordem nos sistemas treliçados nos galpões considerados é pequena. Notou-se que as estruturas dos galpões analisados atendem no processo de dimensionamento as condições de deslocamento máximo para o estado limite de serviço (ELS), obtendo assim pórticos com rigidez que garantem a pequena deslocabilidade da estrutura.

A maior amplificação ocorre devido às imperfeições quando as cargas gravitacionais são preponderantes nas colunas, por exemplo, caso de galpões com pontes rolantes. Constata-se então que os efeitos de segunda ordem não são suficientes para condicionar o processo de dimensionamento dos galpões com sistemas treliçados.

A partir dos resultados e comportamentos observados no estudo paramétrico realizado foram apresentadas as avaliações referentes às tipologias dos galpões em relação ao consumo de aço e aos deslocamentos das treliças e produzidos os

ábacos de pré-dimensionamentos para os elementos dos pórticos treliçados em função da tipologia e dimensões do galpão. Conclui-se que:

- Para o consumo aproximado de aço, a tipologia com menor consumo é o do galpão com treliça trapezoidal para os vãos de 15 m a 45 m e para os espaçamentos de 6 m e 9 m. Esse resultado é similar aos obtidos para galpões de alma cheia, mas resulta em uma redução no valor de consumo médio de  $15 \text{ kg/m}^2$  para os galpões com  $B=6 \text{ m}$  e de  $10 \text{ kg/m}^2$  para os galpões com  $B=9\text{m}$ . As treliças triangulares e as treliças de banzos paralelos apresentam valores de consumos de aço próximos, sendo que a tipologia de banzo paralelo apresenta uma vantagem para vãos maiores.
- No que se refere à variação do espaçamento entre os pórticos do galpão, encontra-se que quanto maior o espaçamento menor é o consumo estimado de aço. Portanto, um fator importante seria projetar galpões que permitam maximizá-lo.
- Em relação à estabilidade estrutural, a treliça trapezoidal apresenta menores deslocamentos verticais para todos os vãos considerados, seguido pela treliça triangular e pela treliça de banzo paralelo. Enquanto os deslocamentos horizontais apresentam para todos os modelos de galpões valores oscilantes que verificam os valores limites de serviço imposto pela NBR8800:2008. Notou-se que a tipologia de banzo paralelo apresenta maiores deslocamentos laterais para um mesmo vão em relação a demais tipologias. Esses deslocamentos são os que condicionam o dimensionamento das colunas.
- Para o pré-dimensionamento das treliças, nota-se a importância da consideração da esbeltez máxima dos elementos ( $\lambda < 200$ ), dado que a maioria dos elementos das treliças as seções são determinadas por este critério. Observou-se que deve-se optar por uma relação flecha da treliça e vão livre ( $f/L$ ) entre  $1/8$  e  $1/15$ , para conseguir um bom desempenho estrutural.

- Os ábacos de pré-dimensionamento apresentam resultados satisfatórios, tanto para as dimensões padrões como para as dimensões intermediárias, com a limitação da inclinação da cobertura seja de  $10^\circ$ , a relação flecha/vão seja de 1/8 a 1/15 da treliça e o espaçamento máximo entre montantes seja até 2,5m devido à esbeltez máxima dos elementos comprimidos.
- Notou-se também que à medida que o vão aumenta existe uma tendência de redução das seções das colunas. Isto pode ser devido ao aumento do efeito de contraventamentos das treliças reforçando as colunas, já que as colunas foram determinadas usando o critério de estabilidade lateral.
- O pré-dimensionamento pode ser efetuado de forma prática, por exemplo, para classificar a estrutura em quanto à sensibilidade a deslocamentos laterais. Obtêm-se resultados bem próximos do cálculo definitivo, permitindo-se uma estimativa de consumo de aço para o orçamento dos diversos galpões.

## **6.2. Sugestões para trabalhos futuros**

Sugere-se que os seguintes tópicos sejam abordados em futuros trabalhos que complementariam a presente dissertação:

- Analisar os efeitos de segunda ordem em outros modelos de galpões, com pontes rolantes.
- Estudar a disposição do perfil cantoneira como elemento das treliças.
- Avaliar a utilização de perfis de chapa dobrada neste tipo de sistemas estruturais treliçados.