

# AVALIAÇÃO DE SOLUÇÕES ESTRUTURAIS PARA GALPÕES COMPOSTOS POR PERFIS DE AÇO FORMADOS A FRIO

## EVALUATION OF STRUCTURAL SOLUTIONS FOR SHEDS COMPOSITES FOR PROFILES STEEL MADE OF COLD FORMED

**NOGUEIRA, G. S.**

Mestre em Engenharia Civil: ênfase em Construções Metálicas  
gilcimar\_nogueira@yahoo.com.br

**PAULA, G. D.**

Professor Doutor, Universidade Federal de Ouro Preto  
geraldo@em.ufop.br

**PAES, J. L. R.**

Professor Doutor, Universidade Federal de Viçosa  
jlrange@ufv.br

### Resumo

A tipologia estrutural de um projeto de um galpão de uso geral é comumente definida através da experiência dos projetistas e calculistas de estrutura metálica. As competitividades das estruturas de galpões de uso geral exigem respostas rápidas e econômicas frente ao mercado consumidor. O objetivo deste trabalho foi avaliar, comparativamente, o desempenho de alguns sistemas estruturais comumente empregados para galpões de uso geral compostos por vigas de cobertura em perfis formados a frio. Para se avaliar o desempenho de alguns sistemas estruturais, foram considerados pórticos transversais com as seguintes tipologias: pórtico de alma cheia, pórtico com treliça em arco, pórtico com treliça de banzos paralelos, pórtico com treliça trapezoidal e pórtico com treliça triangular, com vãos livres de 16, 20, 24, 28 e 32 metros, distância entre pórticos de 6, 7.5 e 9 metros e velocidade básica do vento igual a 30, 35 e 40 m/s. Os galpões foram modelados, analisados e calculados no software mCalc2008. Para avaliar a eficiência do sistema estrutural utilizou-se como parâmetro de avaliação a taxa de consumo de aço e a resposta estrutural dos sistemas. Conclui-se sobre o ponto de vista estrutural, dentre as tipologias e os parâmetros considerados nas análises, que os pórticos treliçados são mais eficientes que os pórticos em alma cheia. Das tipologias em pórticos treliçados, a treliça em arco é o mais eficiente para pequenos vãos, baixa ação do vento e baixo espaçamento entre os pórticos transversais. Para maiores vãos, a treliça trapezoidal e a treliça de banzos paralelos apresentam melhor desempenho.

**Palavras-chave:** Perfis formados a frio, galpões de uso. geral, sistemas estruturais

### Abstract

The structural typology of industrial hangars projects is commonly defined by means of the designer's experience. In projects of industrial hangars, the experience of the designer is crucial for the decision of the most appropriate structural typology. Despite the variety of the structural solutions, the high competitiveness of this type of structures requires quick and economic responses in front of the consumer market. The objective of this study is to evaluate comparatively the performance of some usual structural systems for industrial sheds, made of cold formed profiles. For the development of this study, there were considered frames with cross sections of the following types: frames with I-shaped cross sections, frames with arch truss, frames with trusses of parallel chords, frames with trapezoidal truss and frames with triangular truss. The free spans studied were of 16, 20, 24, 28 and 32 meters; the distance between frames, 6, 7.5 and 9 meters, as well as the basic wind speeds of 30, 35 and 40 m/s. The sheds were modeled, analyzed

and calculated in by software mCalc 2008. The study used the rate of consumption of steel and the structural response as a parameter of evaluation of efficiency of the different structural systems presented. Therefore, from the structural behavior point of view, considering all the typologies and parameters evaluated, the frames with trussed cross sections are more efficient than the frames with I-shaped cross sections. Among the typologies of trussed cross sections studied, the arch truss is the most efficient for small free spans, low wind loads and small distances between frames. For larger free spans, the trapezoidal truss and the parallel uprights truss have presented the best performance.

**Keywords:** cold formed profiles, industrial hangars, structural systems

## INTRODUÇÃO

Em decorrência do mercado competitivo e globalizado, o custo dos empreendimentos é um parâmetro decisivo para a construção civil e, em particular, para as empresas fabricantes de estruturas metálicas. Os projetos modernos devem conjugar três aspectos fundamentais: segurança, economia e durabilidade. Estes aspectos garantem a competitividade de um projeto.

No contexto da construção metálica, os galpões de uso geral são responsáveis por uma grande parcela dos empreendimentos. Dentro desse importante segmento, as estruturas de um só pavimento são as mais utilizadas, exigindo soluções econômicas e versáteis para uma larga faixa de vãos e uma ampla gama de aplicações, tais como: fábricas, depósitos, lojas, academias, ginásios poliesportivos, garagens, granjas, hangares, etc.

Diversos sistemas estruturais podem ser empregados na composição da estrutura de galpões de uso geral de um só pavimento. Os sistemas formados por pórticos planos transversais estabilizados longitudinalmente por contraventamentos são os mais comuns e normalmente levam a estruturas simples, sem interferências, de grande velocidade construtiva e economia. Estas características levam à disseminação do uso desses sistemas para galpões de um só pavimento.

Existem dois tipos básicos de pórticos planos utilizados nos galpões de um só pavimento: os pórticos de perfis de alma cheia, que utilizam perfis laminados ou perfis soldados, e os pórticos treliçados, que empregam perfis leves (laminados e/ou formados a frio).

No Brasil, o uso de perfis de aço formados a frio (PFF) é muito difundido em diversas aplicações. No caso de galpões de uso geral o uso de PFF foi bastante ampliado nos últimos anos, principalmente devido às reduzidas taxas de consumo de aço por unidade de área alcançada nesses projetos. Em função disso, a oferta de PFF aumentou significativamente no mercado brasileiro.

## METODOLOGIA

A metodologia adotada consiste na seleção dos parâmetros para a análise estrutural, a análise e o dimensionamento dos modelos estruturais constituídos por pórticos transversais com vigas em alma cheia e treliçadas.

## 2.1. Parâmetros para Análise Estrutural

A seleção de parâmetros para o desenvolvimento do estudo sobre galpões de uso geral pode ser estabelecida, a partir da variação de diversas características que influenciam o comportamento estrutural. Neste trabalho decidiu-se por avaliar a influência dos seguintes parâmetros:

- tipologia do pórtico transversal;
- vão livre do pórtico transversal;
- distância entre pórticos transversais;
- diferentes estágios de ações do vento (típico das diferentes regiões brasileiras).

Para as demais características, em todos os modelos admitem-se valores adotados em projetos dos galpões usuais de um só pavimento:

- inclinação da cobertura - 10%;
- altura da coluna - 6 metros;
- comprimento total do galpão:
  - 60 metros - para espaçamento entre pórticos transversais de 6,0 e 7,5 metros.
  - 63 metros - para espaçamento entre pórticos transversais de 9,0 metros.

Para a avaliação do desempenho de soluções estruturais para galpões de uso geral, neste trabalho, consideram-se:

- cinco tipologias de pórticos transversais:
  - AC - Pórtico de alma cheia;
  - TA - Pórtico com treliça em arco;
  - BP - Pórtico com treliça de banzos paralelos;
  - TP - Pórtico com treliça trapezoidal;
  - TT - Pórtico com treliça triangular.
- cinco vãos livres (16, 20, 24, 28 e 32 metros);
- três distâncias entre pórticos transversais (6,0; 7,5 e 9,0 metros);
- três velocidades básicas de vento (30, 35 e 40m/s).

Em função da variação de parâmetros proposta, geram-se 225 modelos de galpões de um só pavimento que se constituem na base para a avaliação das soluções estruturais. Para comparar os resultados do presente trabalho com os disponíveis na literatura, gerou-se mais 20 modelos com bases engastadas, distância entre pórticos transversais de 6 metros e velocidade básica do vento igual a 35m/s. Portanto, no total, são analisados 245 modelos.

Para o cálculo da taxa de consumo de aço global dos diversos modelos, além do peso dos pórticos transversais, é levado em consideração o peso das terças de cobertura e dos contraventamentos. O peso das travessas de tapamento não é considerado no cálculo da taxa de consumo de aço global dos modelos, devido à grande variedade de soluções adotadas para o tapamento lateral e frontal dos galpões de uso geral. Tendo em vista esta decisão, as taxas de consumo de aço global obtidas no presente estudo representam exclusivamente os elementos comuns aos galpões de uso geral.

Considerando que a estrutura desses edifícios é marcada pela repetição de pórticos planos transversais, o desempenho das tipologias centra-se na avaliação estrutural dos pórticos principais. Com os parâmetros adotados definem-se as características geométricas de cada modelo estrutural.

Para a definição das características geométricas dos modelos estruturais para cada tipologia de galpão, toma-se como referência uma inclinação de 10% para a cobertura.

Para os pórticos de alma cheia (AC), a inclinação de 10% resulta em uma flecha no meio do vão equivalente a  $L/20$ , sendo  $L$  o vão livre do pórtico transversal.

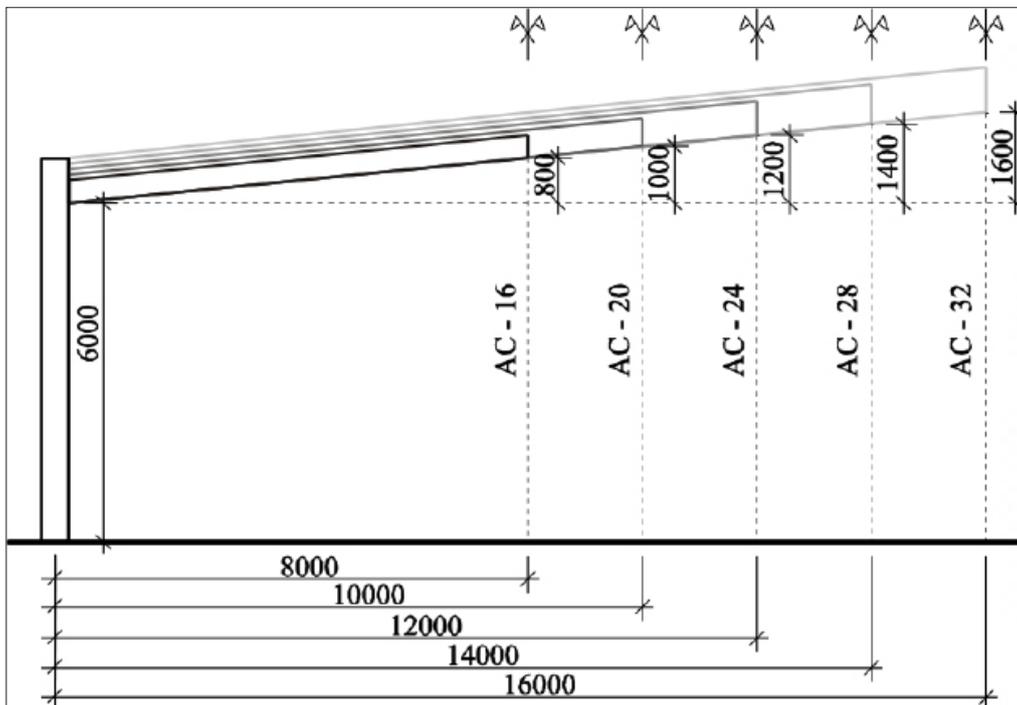
Preservando-se a inclinação de 10%, adota-se uma relação de  $L/10$  para a flecha da viga de cobertura dos modelos em treliça de banzos paralelos (BP) e treliça trapezoidal (TP). Esta medida foi tomada para manter próximas as inércias equivalentes das seções transversais no meio do vão dos diferentes tipos de pórticos.

No caso da treliça triangular (TT), mantém-se a relação de  $L/10$  para a flecha do meio do vão, o que proporciona uma inclinação de 20% para a cobertura. A inclinação de 10% para esse caso faz surgir esforços muito elevados nas extremidades da viga de cobertura, além de reduzir significativamente a inércia equivalente da seção transversal no meio do vão.

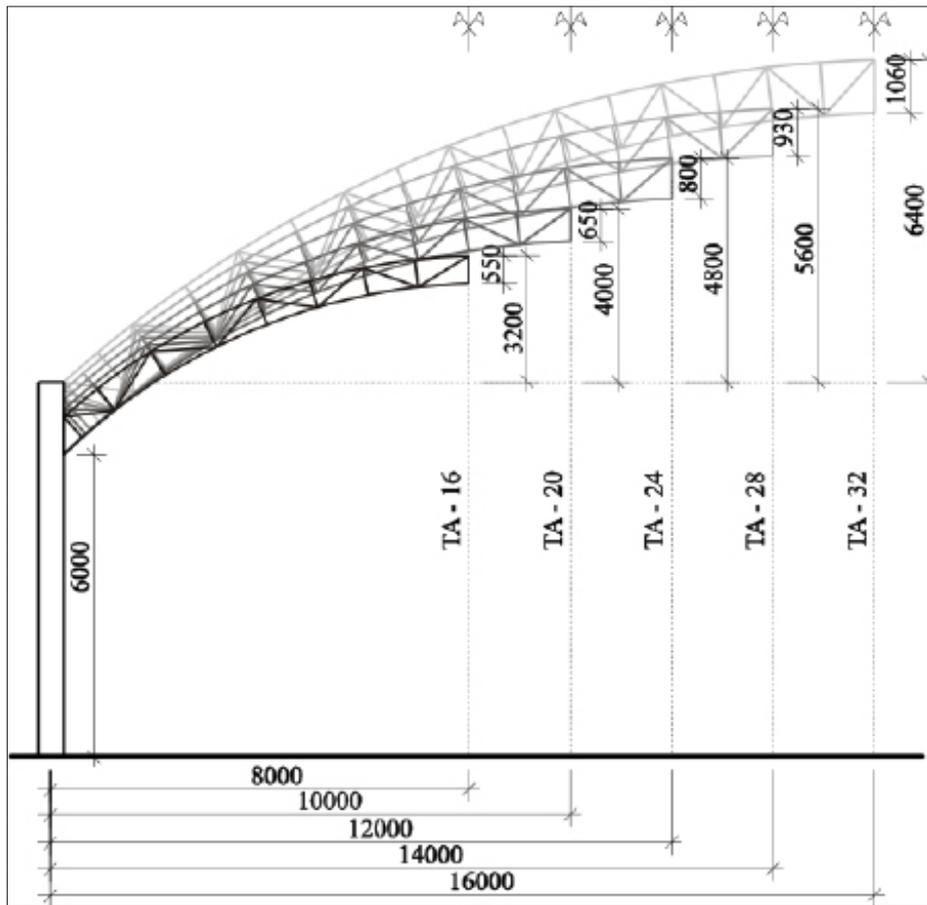
Para a treliça em arco (TA) toma-se como referência uma relação entre a flecha e o vão livre variando de  $1/6$  a  $1/5$ , conforme recomendação de Sales (1994). Portanto, para esses modelos utiliza-se uma relação de  $L/5$  para a flecha no meio do vão.

Com base nas considerações anteriores, admitiu-se no presente trabalho bases rotuladas para os pórticos AC, TA, BP e TP. Já no pórtico TT foi adotada base engastada, em virtude do afunilamento produzido pelo arranjo das barras.

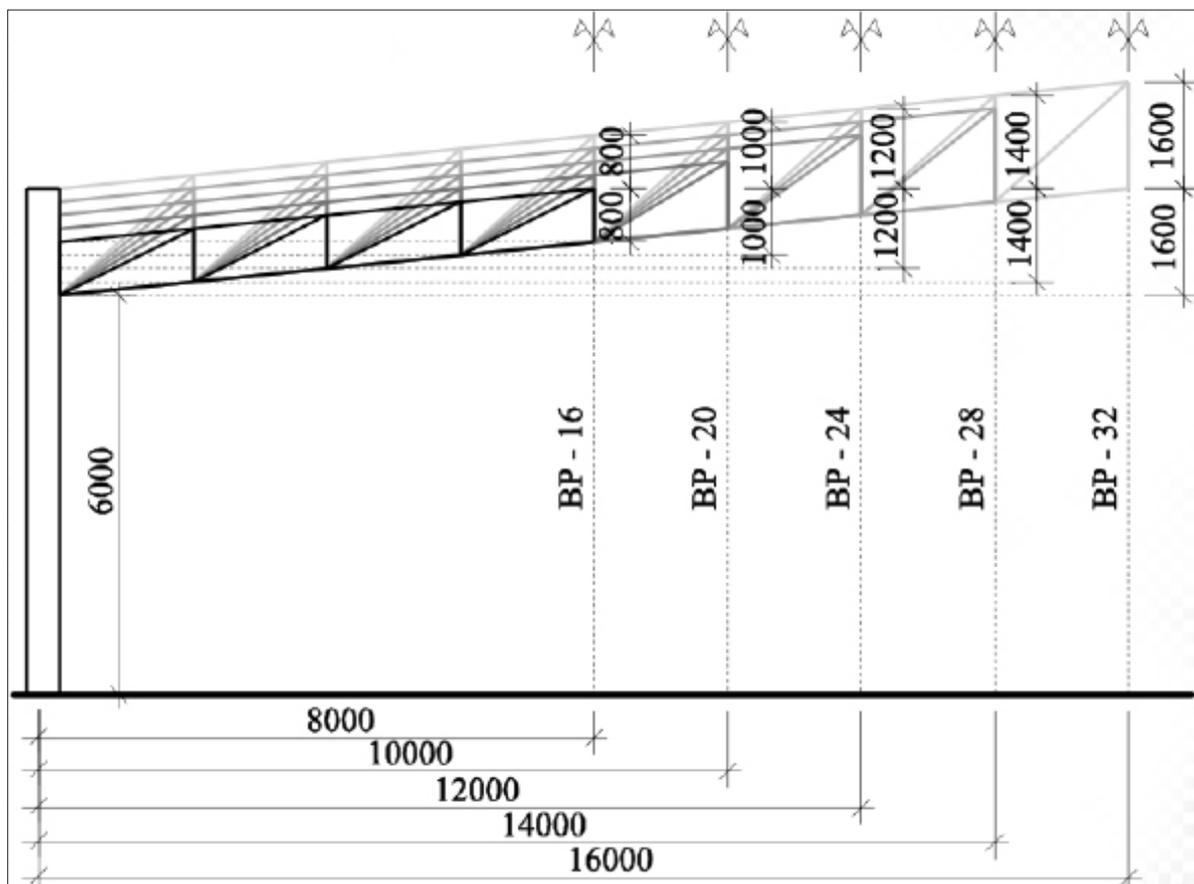
Na Figura 1 apresentam-se as variações da geometria para os pórticos transversais avaliados.



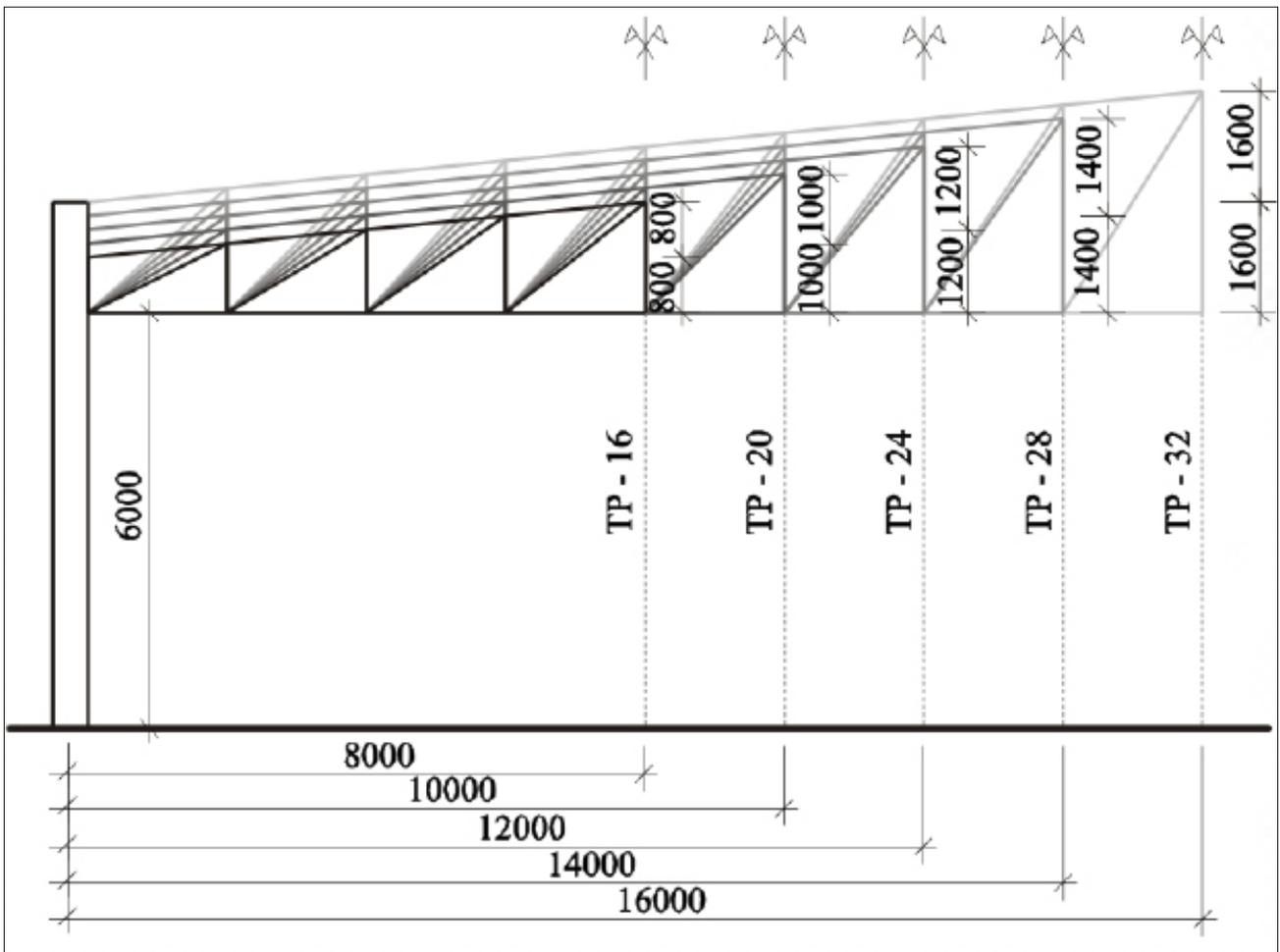
(a) Sobreposição dos pórticos de alma cheia (AC).



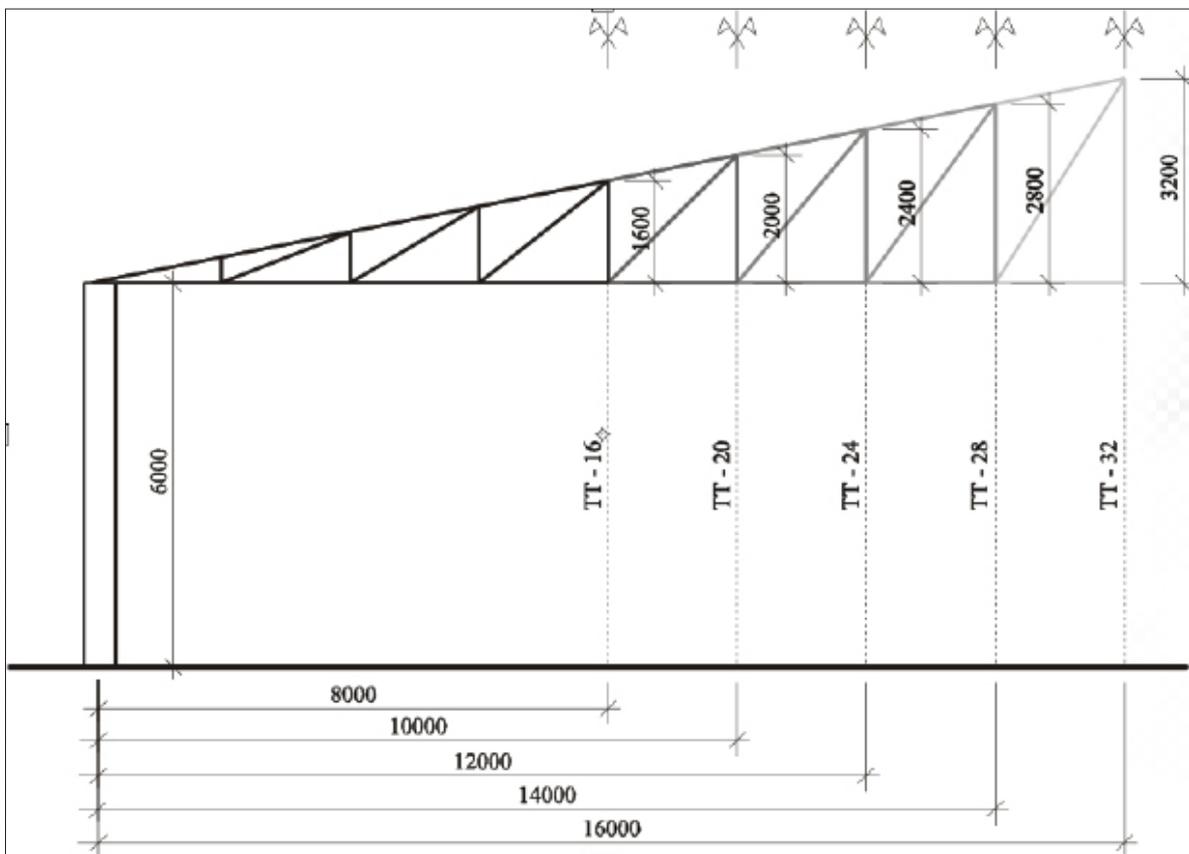
(b) Sobreposição dos pórticos com treliça em arco (TA).



(c) Sobreposição dos pórticos com treliça de banzos paralelos (BP).



(d) Sobreposição dos pórticos com treliça trapezoidal (TP).



(e) Sobreposição dos pórticos com treliça triangular (TP).

**Figura 1**  
Variação da geometria para as diversas tipologias de pórticos transversais.

## 2.2. Análise Estrutural

As ações atuantes nos modelos foram determinadas de acordo com as recomendações do Anexo B da NBR8800 (2008). Para todos os modelos considerou-se uma ação permanente de  $0,11\text{kN/m}^2$ , levando-se em conta o peso próprio das telhas, terças e elementos secundários de cobertura. Admitindo para os modelos a sobrecarga de cobertura recomendada pela NBR 8800 (2008) de  $0,25\text{kN/m}^2$ .

A ação do vento nos galpões foi determinada segundo as prescrições da NBR 6123 (1988). Em todos os modelos foi considerado o coeficiente de pressão interna,  $C_{pi}$ , igual a  $-0,30$  ou  $0,0$  (entre o valor mais nocivo), admitindo-se que o galpão possui quatro faces igualmente permeáveis.

As combinações de ações consideradas foram:

- Combinação 01 -  $1,25 \times G$  (peso próprio) +  $1,5 \times Q$  (sobrecarga);
- Combinação 02 -  $1,0 \times G$  (peso próprio) +  $1,4 \times V_{90^\circ}$  (vento transversal).
- Combinação 03 -  $1,0 \times G$  (peso próprio) +  $1,4 \times V_{0^\circ}$  (vento longitudinal).

Segundo a NBR 8800 (2008), a análise estrutural deve ser feita com um modelo realista, que permita representar a resposta da estrutura e dos materiais estruturais, levando-se em conta as deformações causadas por todos os esforços solicitantes relevantes. Onde necessário, a interação solo-estrutura e o comportamento das ligações devem ser contemplados no modelo.

Tendo em vista que as estruturas típicas de galpões de uso geral são pórticos planos de um só pavimento, normalmente de pequena deslocabilidade lateral, e que o objetivo principal deste trabalho é comparar o desempenho de soluções estruturais, opta-se pela realização de uma análise elástica e de primeira ordem.

Neste trabalho utiliza-se o programa computacional mCalc2008 para realização das análises estruturais e dimensionamento dos modelos. O mCalc2008 é um programa integrado de análise e dimensionamento de estruturas de aço desenvolvido pela empresa Stabile Engenharia Ltda., situada em Porto Alegre-RS.

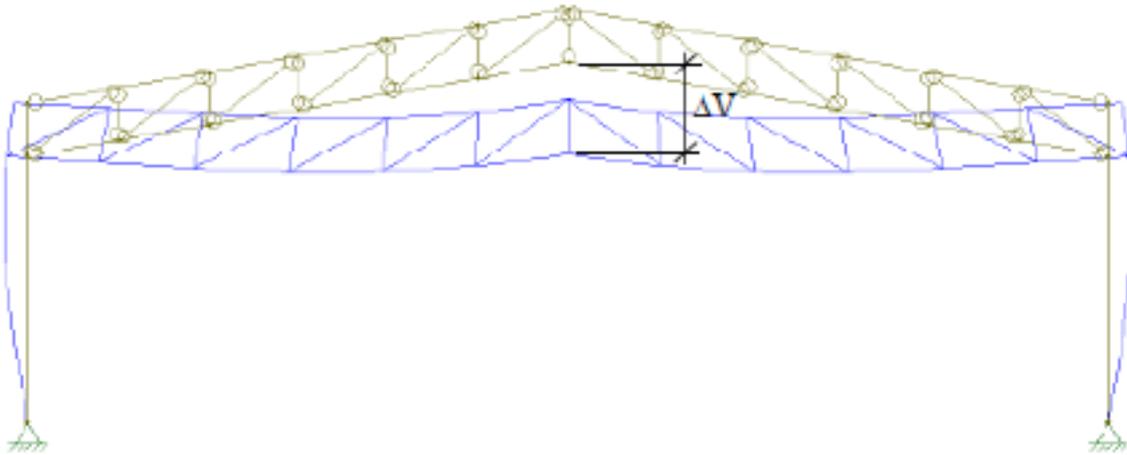
## 2.3. Dimensionamento dos modelos

A NBR 8800 (2008) é baseada no Método dos Estados Limites e aplica-se às estruturas de edifícios destinados à habitação, de edifícios de usos comerciais e industriais e de edifícios públicos. Aplica-se também às estruturas de passarelas de pedestres e a suportes de equipamentos. Esta Norma não abrange o dimensionamento de elementos estruturais constituídos por perfis formados a frio, que deve ser feito de acordo com as prescrições da norma NBR 14762 (2001).

Os deslocamentos excessivos, horizontais e verticais, são limitados conforme o Anexo C da NBR8800 (2008) para verificar o Estado Limite de Utilização. Em edifícios industriais o deslocamento horizontal máximo ( $\Delta H$ ) é de  $H/400$  a  $H/200$ , onde  $H$  é a altura total da coluna. O deslocamento vertical máximo ( $\Delta V$ ) é de  $L/180$ , sendo  $L$  o vão teórico entre apoios.

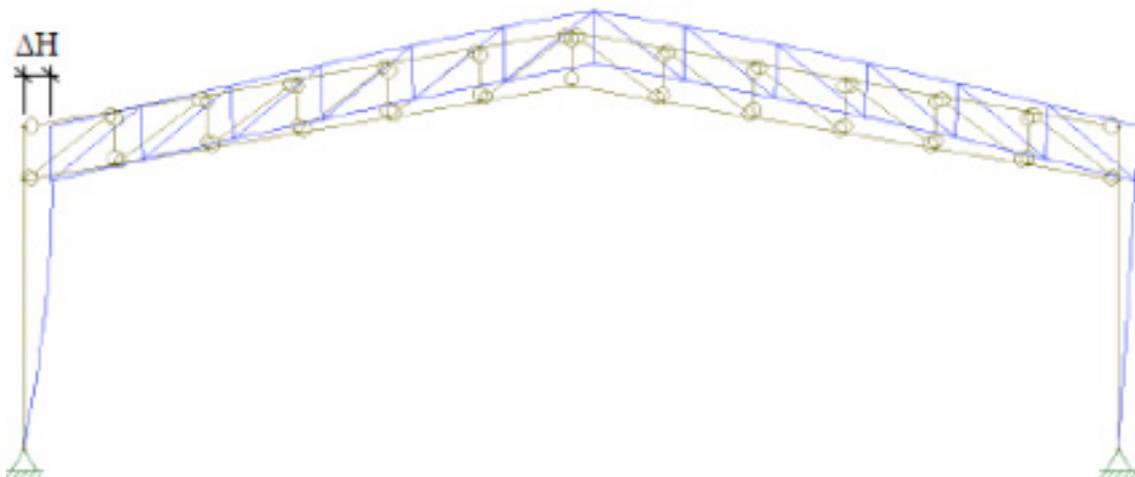
Neste trabalho, a verificação dos deslocamentos vertical e horizontal máximos é realizada com base no critério indicado no Anexo C da NBR8800 (2008). Recomenda-se considerar para o deslocamento vertical máximo a sobrecarga de cobertura que se estabelece um valor máximo de  $L/250$  para o caso de estrutura biapoiadas, suportando elementos de cobertura elásticos. Para verificação do deslocamento horizontal máximo, recomenda-se levar em conta a ação do vento e estabelecer um valor máximo médio de  $H/300$ .

As Figuras 2 e 3 mostram as deformações típicas, decorrentes dos deslocamentos vertical e horizontal, de um modelo de pórtico transversal com treliça trapezoidal com vão livre de 24 metros.



**Figura 2**

Deslocamento vertical típico de um pórtico com treliça trapezoidal (BP).



**Figura 3**

Deslocamento horizontal típico de um pórtico com treliça trapezoidal (BP).

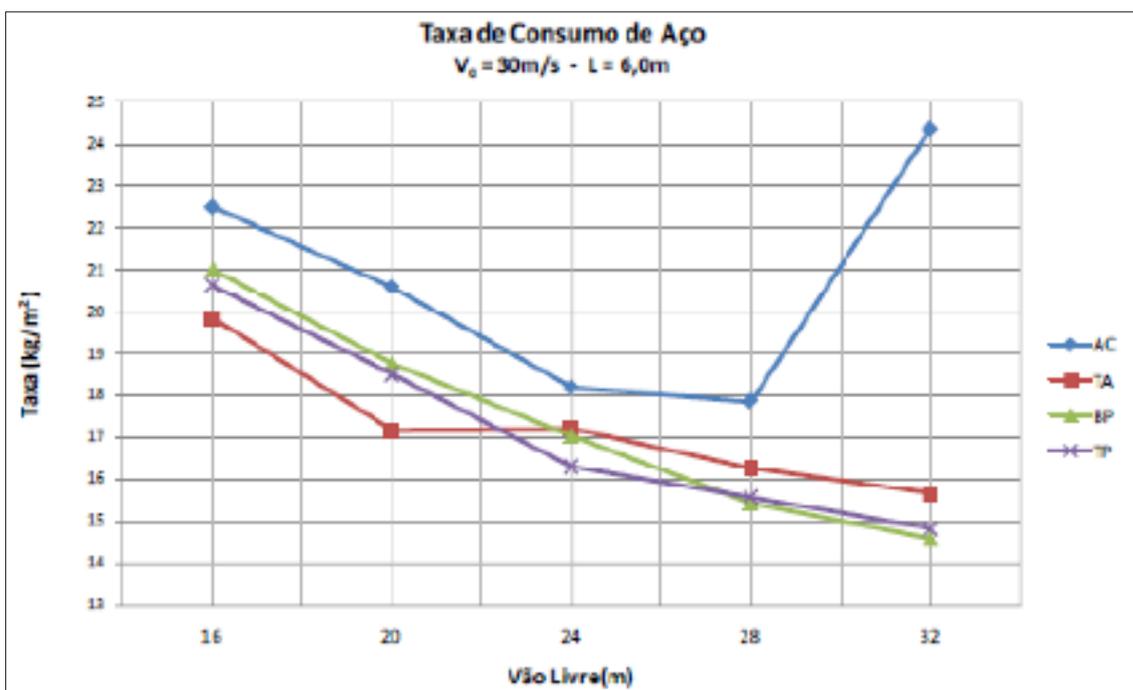
Utiliza-se o programa computacional mCalc2008 para dimensionamento dos modelos. Segundo Carvalho et al. (2009) o mCalc2008 permite o dimensionamento integrado com a análise estrutural de perfis de aço laminados ou soldados de acordo com a norma NBR 8800 (2008) e perfis formados a frio segundo a NBR 14762 (2001).

## ANÁLISE DE RESULTADOS

A taxa de consumo de aço é normalmente tomada como critério inicial para comparação das tipologias de galpões de uso geral. Da mesma forma, no presente trabalho optou-se por utilizar a taxa de consumo de aço como parâmetro de comparação entre tipologias. Além disso, apresenta-se também a variação dos deslocamentos verticais e horizontais dos pórticos transversais, como uma referência para comparação do desempenho estrutural das tipologias.

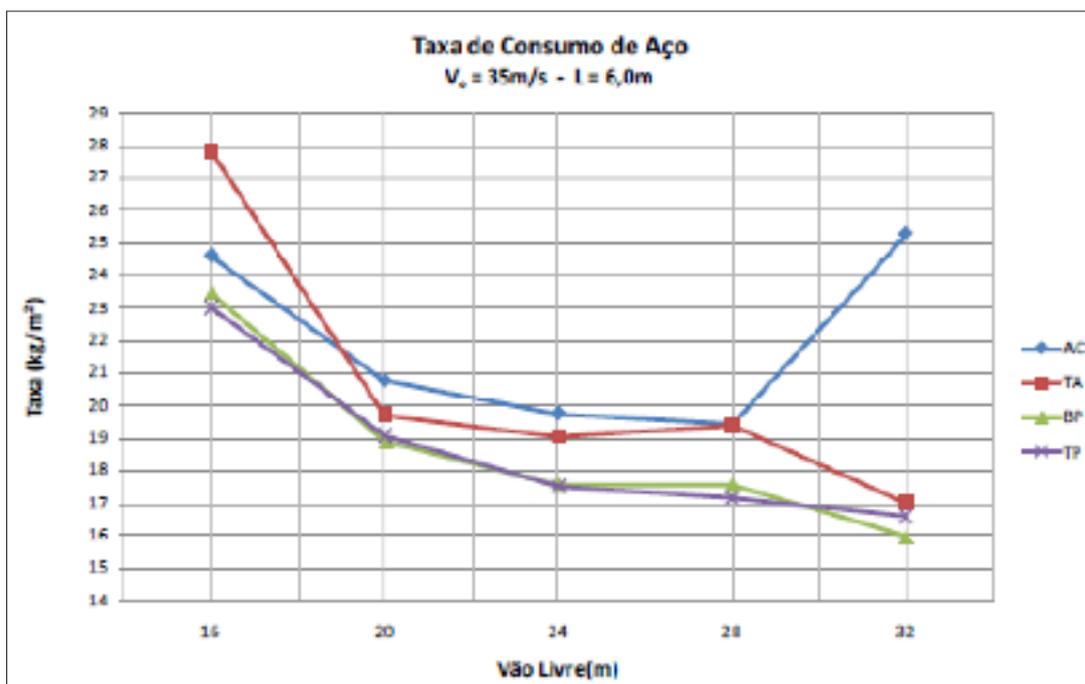
### 3.1. Variação da taxa de consumo de aço para diversas tipologias

Apresenta-se nas Figuras 4 a 12 uma sobreposição dos resultados da taxa de consumo global de aço para as diferentes tipologias em função das variações paramétricas consideradas, para as quatro tipologias indicadas, visando avaliar o desempenho estrutural em relação ao consumo de aço.



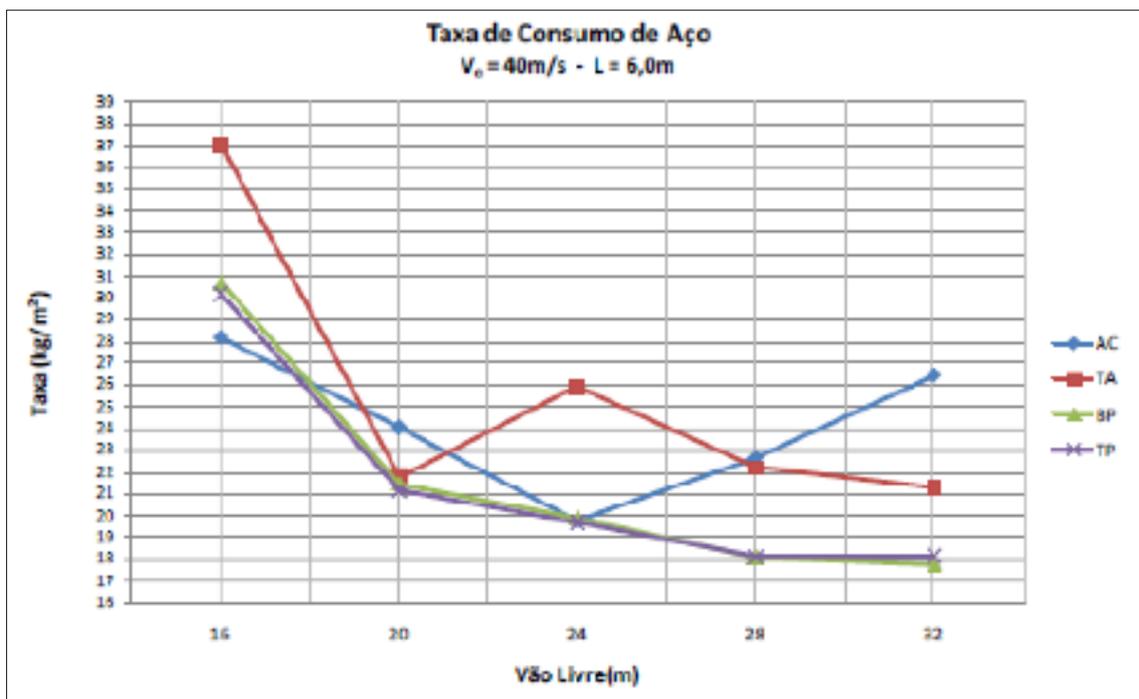
**Figura 4**

Consumo de aço para as diversas tipologias, admitindo  $V_0 = 30\text{m/s}$  e  $L = 6\text{m}$ .



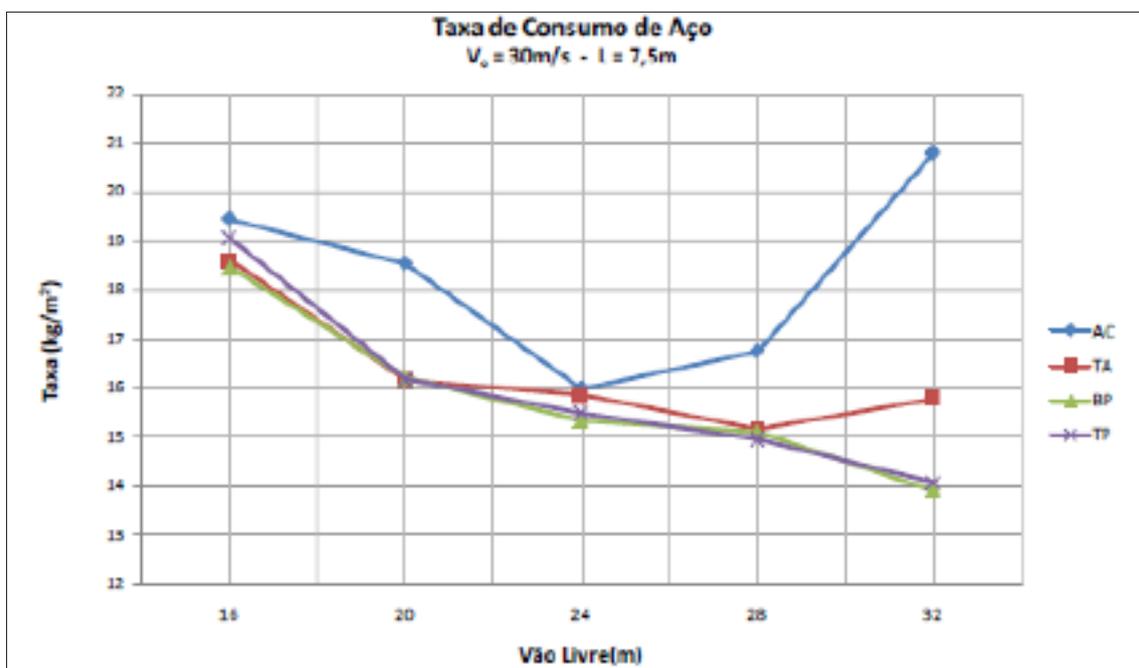
**Figura 5**

Consumo de aço para as diversas tipologias, admitindo  $V_0 = 35\text{m/s}$  e  $L = 6\text{m}$ .



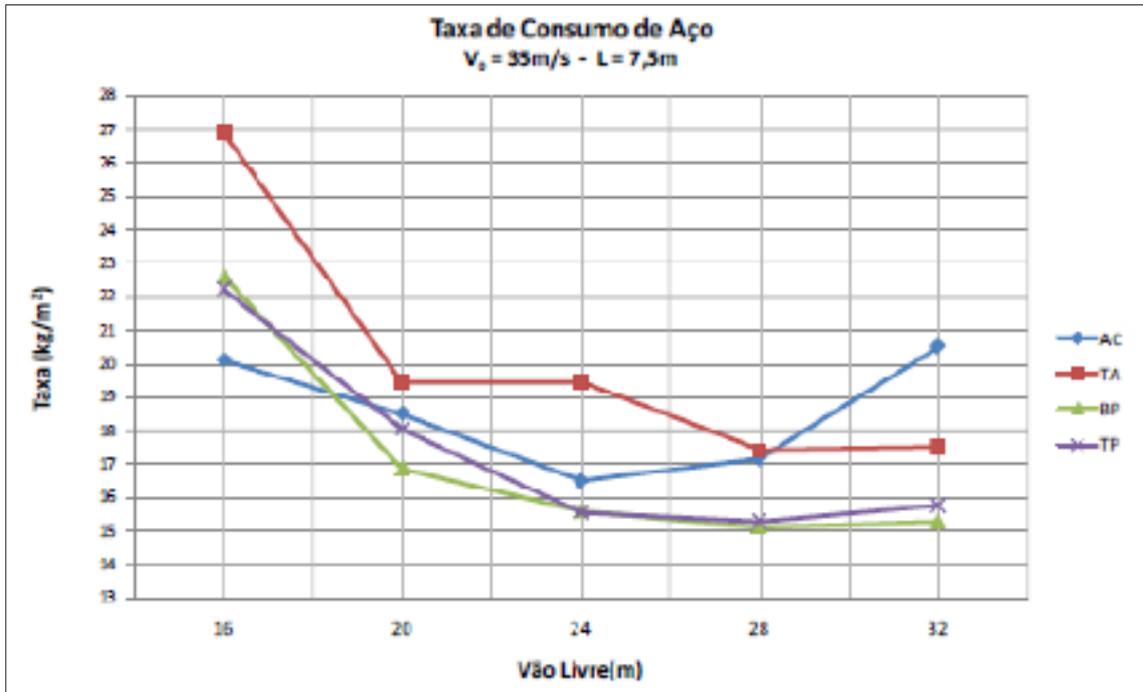
**Figura 6**

Consumo de aço para as diversas tipologias, admitindo  $V_0 = 40\text{m/s}$  e  $L = 6\text{m}$ .

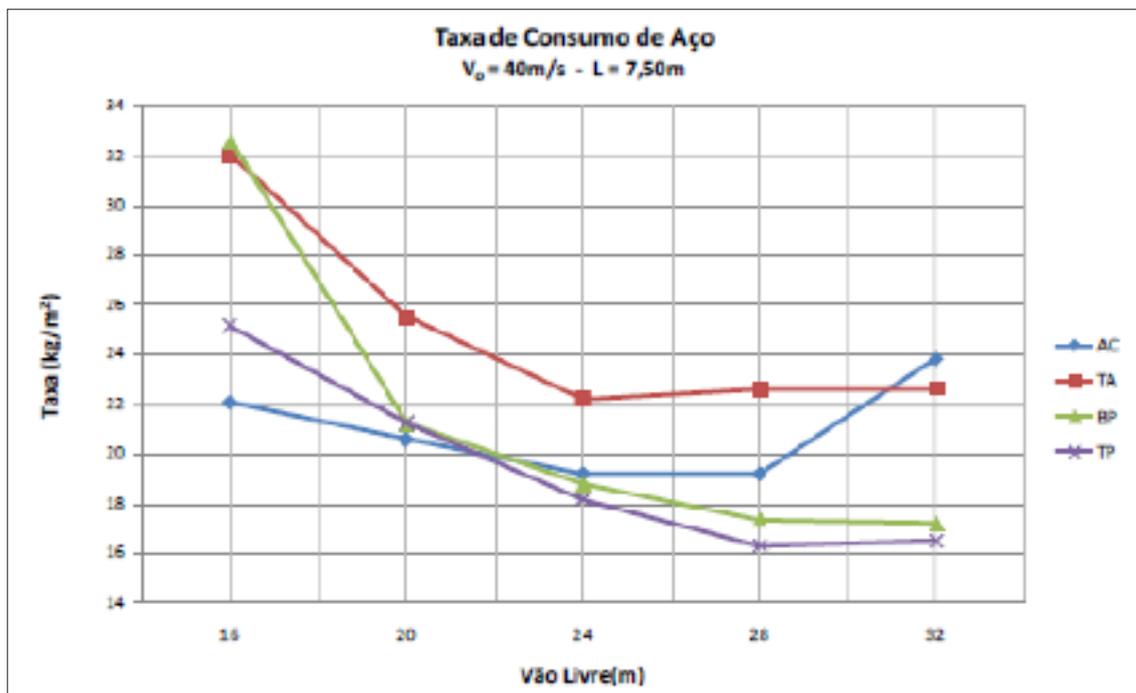


**Figura 7**

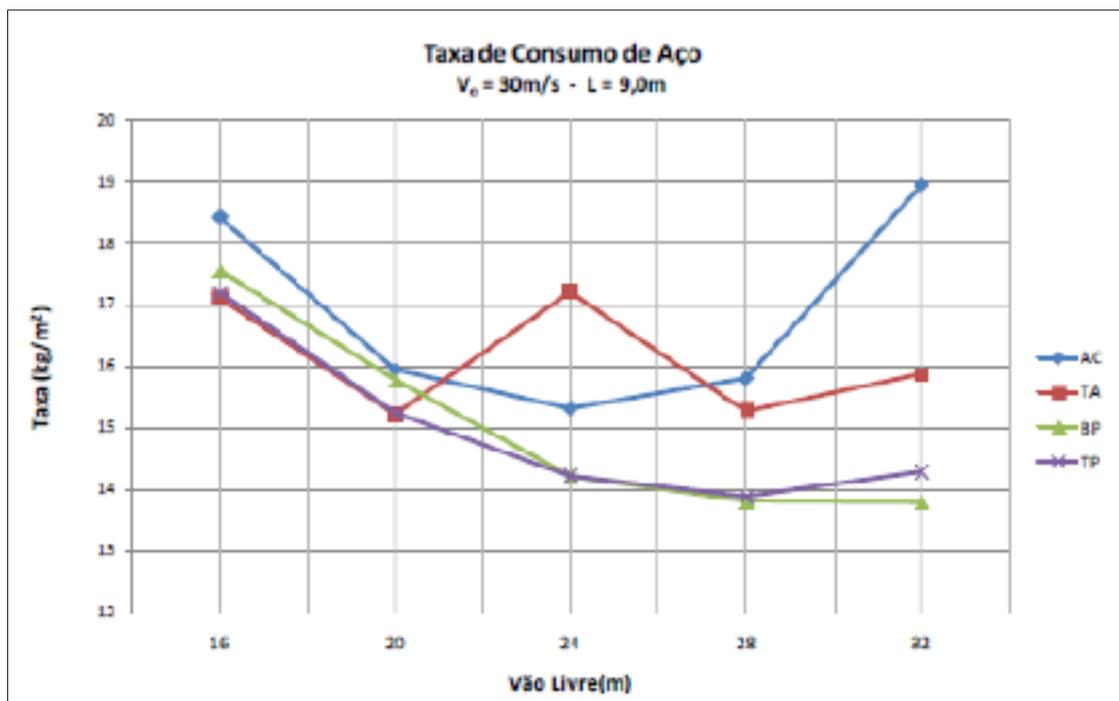
Consumo de aço para as diversas tipologias, admitindo  $V_0 = 30\text{m/s}$  e  $L = 7,5\text{m}$ .



**Figura 8**  
Consumo de aço para as diversas tipologias, admitindo  $V_0 = 35\text{m/s}$  e  $L = 7,5\text{m}$ .

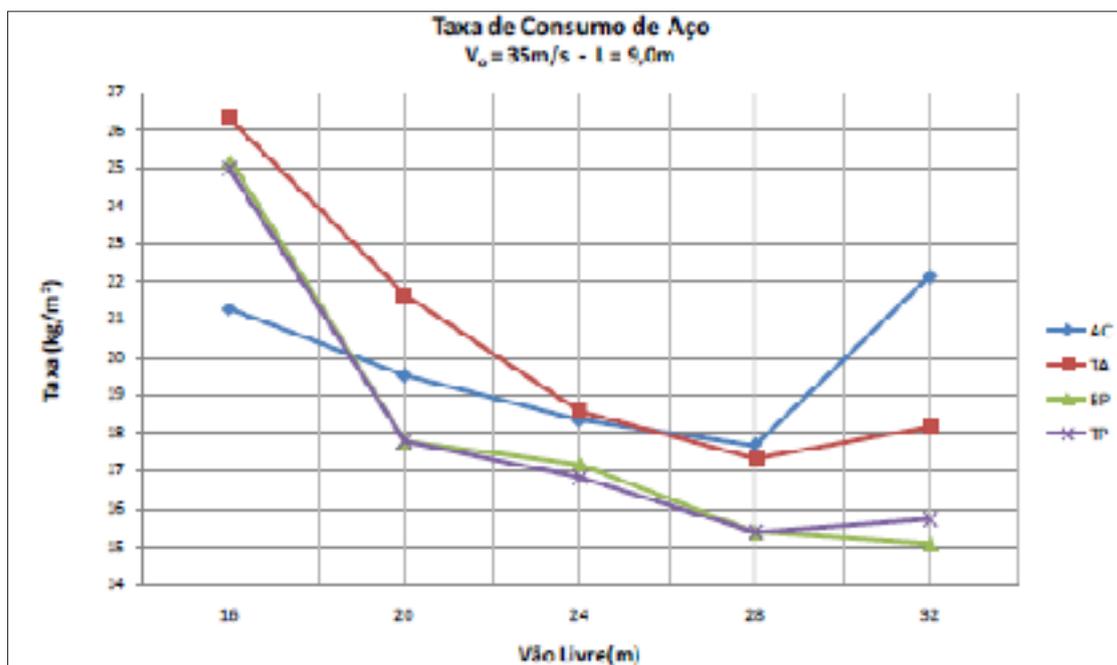


**Figura 9**  
Consumo de aço para as diversas tipologias, admitindo  $V_0 = 40\text{m/s}$  e  $L = 7,5\text{m}$ .



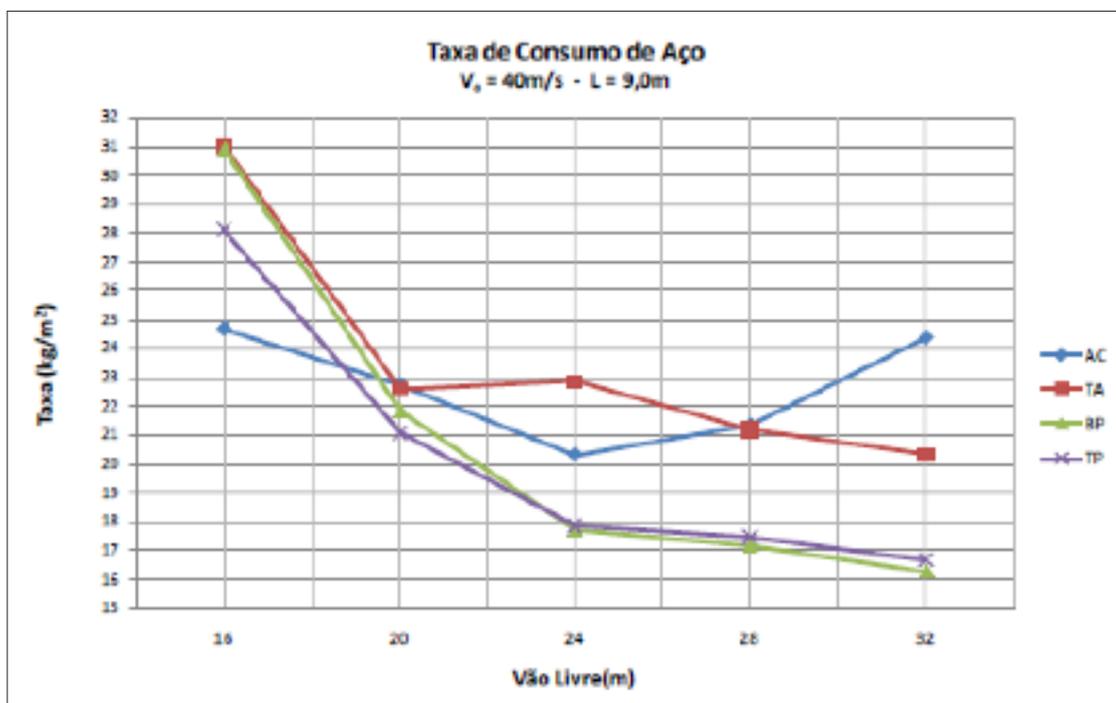
**Figura 10**

Consumo de aço para as diversas tipologias, admitindo  $V_0 = 30\text{m/s}$  e  $L = 9,0\text{m}$ .



**Figura 11**

Consumo de aço para as diversas tipologias, admitindo  $V_0 = 35\text{m/s}$  e  $L = 9,0\text{m}$ .



**Figura 12**

Consumo de aço para as diversas tipologias, admitindo  $V_0 = 40\text{m/s}$  e  $L = 9,0\text{m}$ .

Analisando as figuras anteriores verifica-se que para vãos livres maiores que 20m as tipologias em pórticos de treliça de banzos paralelos (BP) e de treliça trapezoidal (TP) apresentam menor taxa de consumo de aço.

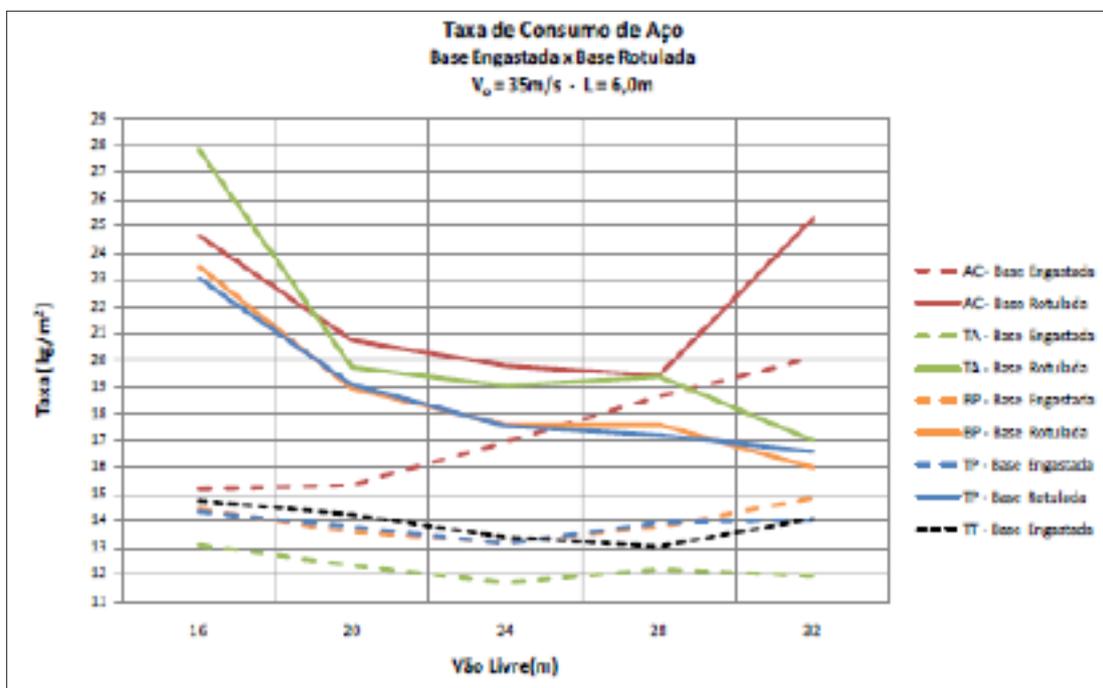
As análises indicam que os pórticos compostos por perfis em alma cheia apresentam taxas de consumo de aço superiores a todas as outras tipologias em pórticos treliçados, com vão livre igual a 32m. Para 16m de vão livre, o pórtico em alma cheia apresenta o consumo de aço superior às demais tipologias em treliça, quando velocidade do vento básica  $V_0 = 30\text{m/s}$ .

Para a velocidade básica do vento igual a 30m/s os pórticos de treliça trapezoidal e de treliça de banzos paralelos apresentam uma semelhança quanto à taxa de consumo de aço, conforme ilustra a Figura 4.

Verifica-se por meio de análises dos gráficos mostrados nas Figuras 4 a 12, que a taxa de consumo de aço é influenciada pelo acréscimo da ação do vento nos pórticos de treliças em arco.

### 3.2. Variação da taxa de consumo de aço para diferentes tipos de vinculação de bases

Para avaliar a influência do tipo de vinculação das bases das colunas do pórtico na taxa de consumo de aço foram analisados e dimensionados novos modelos estruturais compostos pelas quatro (04) tipologias, analisadas anteriormente com as bases rotuladas, para os cinco (05) vãos livres em estudo e velocidade básica do vento igual a 35m/s, totalizando 20 modelos com as bases engastadas. A Figura 13 mostra a sobreposição dos resultados da taxa de consumo de aço global para as tipologias AC, TA, BP e TT, em função do tipo de vinculação das bases (engastada e rotulada), admitindo  $V_0 = 35\text{m/s}$  e o espaçamento entre os pórticos  $L = 6\text{m}$ .

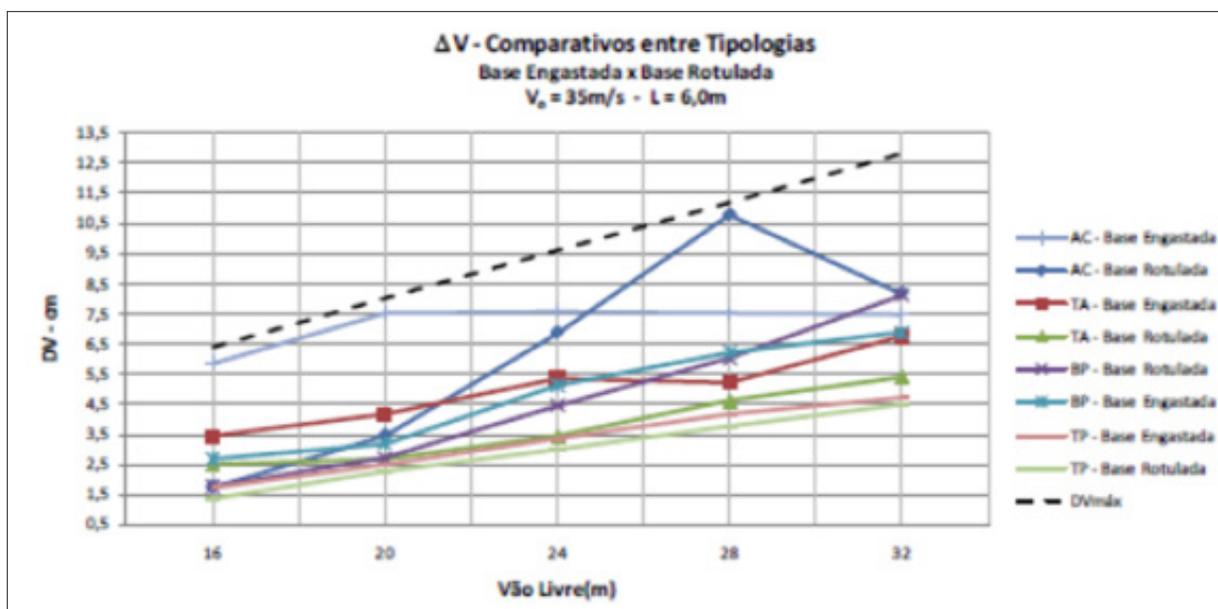


**Figura 13**  
Taxa de consumo de aço para as tipologias, em função da vinculação das bases.

Pode-se verificar que a taxa de consumo de aço é fortemente influenciada pelo tipo de vinculação das bases das colunas dos modelos estruturais. No pórtico em alma cheia, a influência do tipo de vinculação é praticamente desprezível para o vão livre de 28 m. O pórtico formado por treliça em arco com as bases engastadas apresenta melhor desempenho em termos de consumo de aço, em comparação com as outras tipologias.

### 3.3. Comparativo dos deslocamentos dos modelos analisados

Apresenta-se na Figura 14 a sobreposição dos deslocamentos verticais, em função do vão livre, velocidade básica  $V_0 = 35\text{m/s}$ ,  $L = 6,0\text{m}$ , bases engastadas e rotuladas.



**Figura 14**  
Deslocamentos verticais nas diversas tipologias - bases engastadas e rotuladas.

Verifica-se a partir da análise da Figura 14, que todos os modelos estruturais atendem ao Estado Limite de Utilização de deslocamentos excessivos da estrutura, conforme a comparação com os deslocamentos horizontais com os valores limites estabelecidos pela norma NBR8800 (2008).

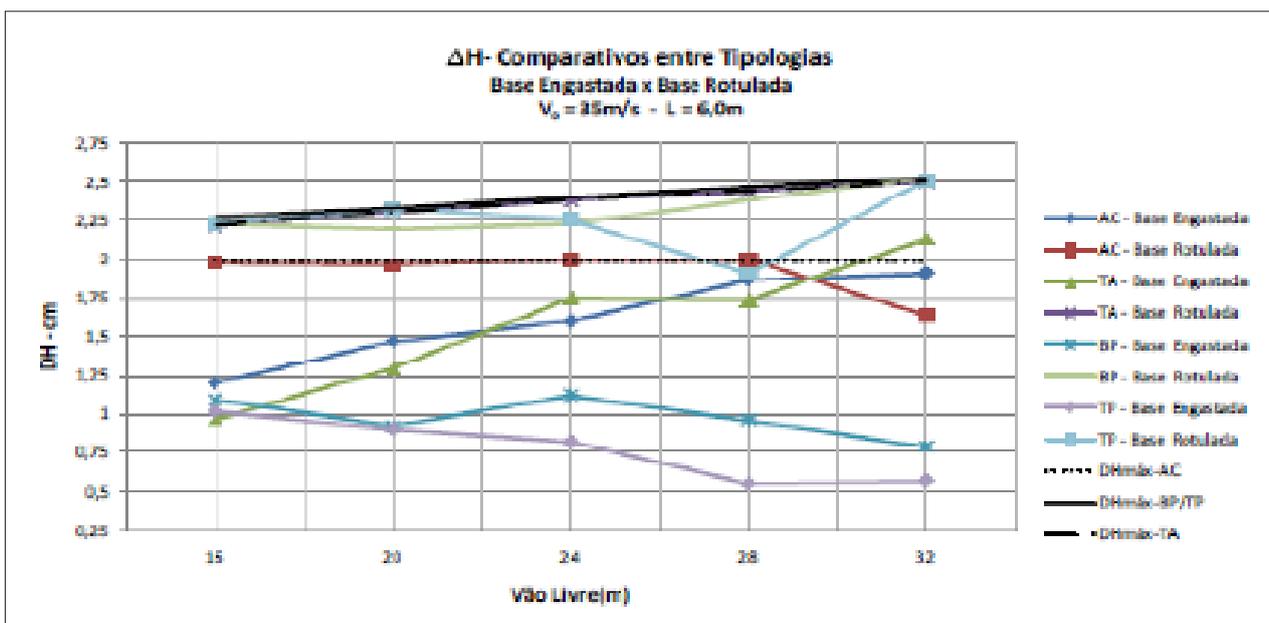
Não há uma definição clara sobre qual tipologia de pórtico é mais eficiente quanto ao deslocamento horizontal. Porém, durante as análises verificou-se que o deslocamento horizontal foi um fator condicionante para o dimensionamento dos pórticos transversais.

O pórtico em treliça trapezoidal apresenta menor deslocamento vertical. Isto ocorre devido à grande inércia equivalente da viga treliçada trapezoidal e da ligação viga/coluna. Pode-se então interpretar que o pórtico em treliça trapezoidal é uma viga equivalente com seção variável e ligação rígida com as colunas.

Nas vigas treliçadas em banzos paralelos e treliça em arco, a falta de um elemento para conter o deslocamento horizontal do topo das colunas provoca deslocamentos verticais superiores àqueles produzidos nas vigas treliçadas trapezoidais.

As vinculações nas bases podem exercer uma influência significativa nos níveis de deslocamentos verticais e horizontais nos modelos estruturais que constituem os pórticos transversais dos galpões de uso geral.

A Figura 15 mostra a sobreposição dos deslocamentos horizontais, em função do vão livre, velocidade básica  $V_0 = 35\text{m/s}$ ,  $L = 6,0\text{m}$ , bases engastadas e rotuladas.



**Figura 15**

Deslocamentos horizontais nas diversas tipologias - bases engastadas e rotuladas.

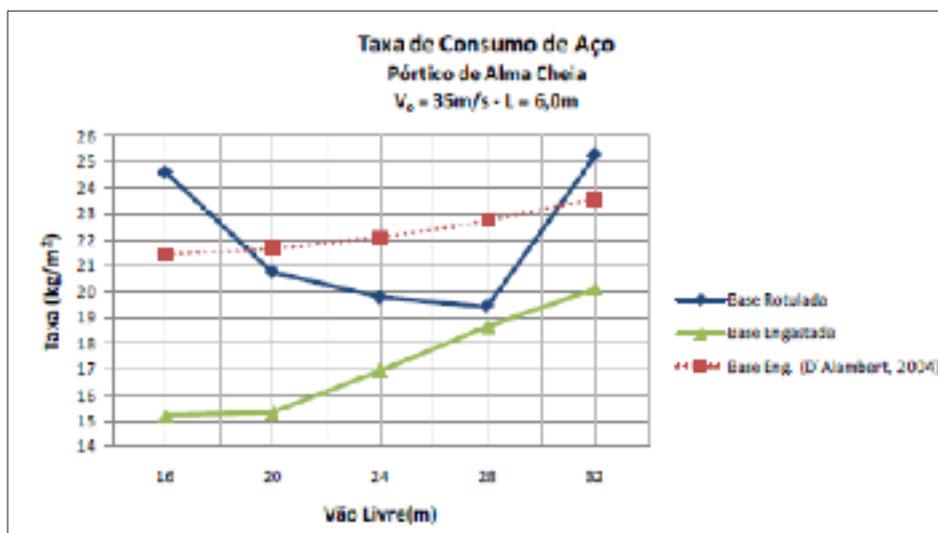
Observa-se que os deslocamentos verticais não sofrem grandes influências quanto ao tipo de vinculação das bases (Figura 14), porém, em se tratando do deslocamento horizontal o tipo de vinculação altera de forma expressiva o valor do deslocamento. A Figura 15 mostra que os pórticos em alma cheia, treliça trapezoidal e de banzos paralelos com as bases engastadas apresentam deslocamentos horizontais bem inferiores aos registrados para estas mesmas tipologias com as bases rotuladas.

O pórtico formado por treliça em arco, com as bases engastadas, apresenta valores baixos para o deslocamento horizontal somente para vãos livre até 24m, a partir de então, equipara ao pórtico em alma cheia com as bases rotuladas e, a partir dos 28m registra-se maiores deslocamentos que o pórtico em alma cheia.

### 3.4. Comparativo da taxa de consumo de aço com os resultados da literatura

Comparam-se nesta seção os resultados obtidos para o consumo de aço da tipologia em pórtico de alma cheia (AC) com as taxas registradas nos trabalhos apresentados por Chaves (2007) e D'Alambert (2004) para modelos estruturais similares

A Figura 16 ilustra os resultados obtidos por D'Alambert (2004) em comparação com os resultados obtidos no presente trabalho levando-se em consideração os diferentes tipos de vinculações com a base (engastado e rotulado), para pórticos transversais: de alma cheia (AC), velocidade básica  $V_c = 35\text{m/s}$  e distância entre pórticos  $L = 6\text{m}$ .

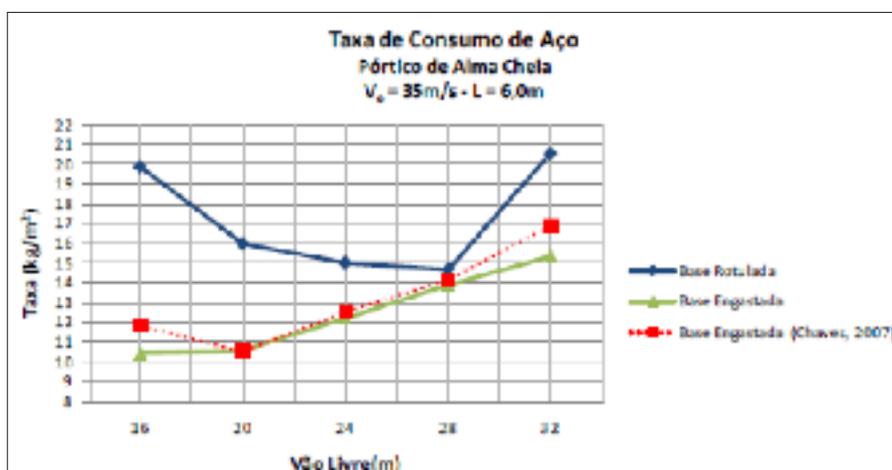


**Figura 16**

Comparativo entre o consumo de aço da tipologia AC e modelo de D'Alambert (2004).

Os modelos estruturais em pórtico transversal de alma cheia foram constituídos por perfis soldados da série CS nas colunas e VS nas vigas. Analisando a Figura 16 verifica-se que apenas para o vão livre de 16m e 32m, a taxa de consumo de aço para modelos com as bases rotuladas é superior à taxa para modelos constituídos por perfis laminados.

A Figura 17 ilustra o comparativo da taxa de consumo de aço do pórtico principal apresentado por Chaves (2007), com as bases engastadas, os modelos analisados são constituídos por perfis eletro soldados CVE nas colunas e VE nas vigas, admitindo o mesmo estágio de ação do vento e o mesmo espaçamento entre os pórticos transversais ( $L = 6\text{m}$ ).



**Figura 17**

Comparativo entre o consumo de aço da tipologia AC e o modelo de Chaves (2007).

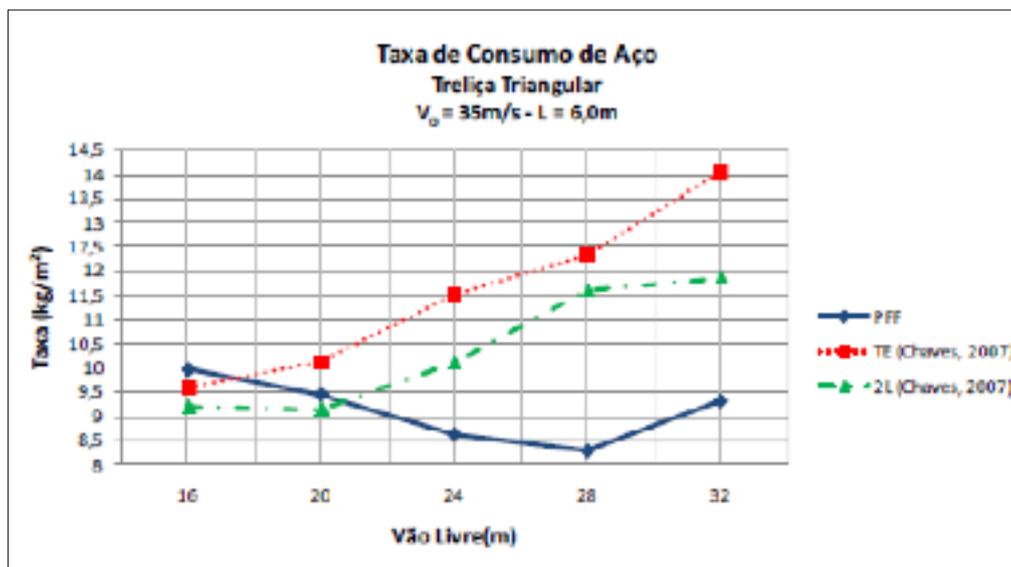
Verifica-se na Figura 17 que galpões com perfis eletro soldados geram soluções mais econômica do ponto de vista da taxa de consumo de aço quando comparados com os modelos com as bases rotuladas. Porém, a taxa de consumo é praticamente a mesma quando se compara os modelos de Chaves (2007) e os do presente trabalho, com as bases engastadas.

A diferença na taxa de consumo de aço em função da vinculação das bases foi também comentada por Bellei (2006), em que, ao se trabalhar com um pórtico engastado nas bases é possível obter uma melhor redistribuição de esforços e um dimensionamento mais econômico.

Chaves (2007) avaliou o desempenho de algumas tipologias para galpões formados por pórticos transversais treliçados, admitindo os modelos com as bases engastadas, espaçamento entre pórticos transversais iguais a 6m e vigas compostas por perfis em dupla cantoneira (2L) e perfis eletro-soldado (TE). Na determinação da taxa de consumo de aço não foi considerado o peso das telhas, terças e contraventamento.

Na análise comparativa da taxa de consumo de aço deste trabalho com os resultados de Chaves (2007) foi considerado apenas o consumo de aço do pórtico principal para as cinco tipologias, mantendo-se o espaçamento entre os pórticos transversais de 6,0m e velocidade básica do vento  $V_0 = 35\text{m/s}$ .

A Figura 18 ilustra o comparativo da taxa de consumo de aço do pórtico em treliça triangular, considerando os mesmos parâmetros em ambas as análises.



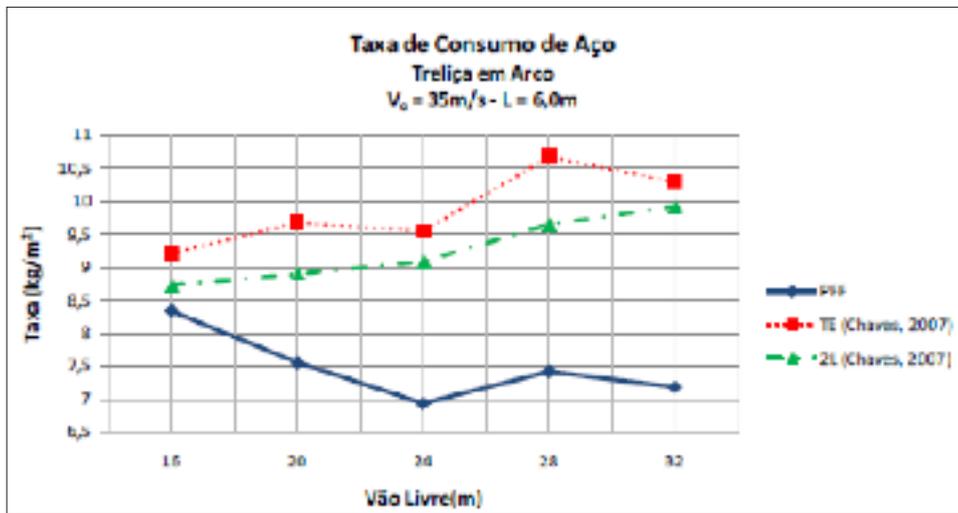
**Figura 18**

Comparativo da taxa de consumo de aço para pórticos com treliça triangular (TT).

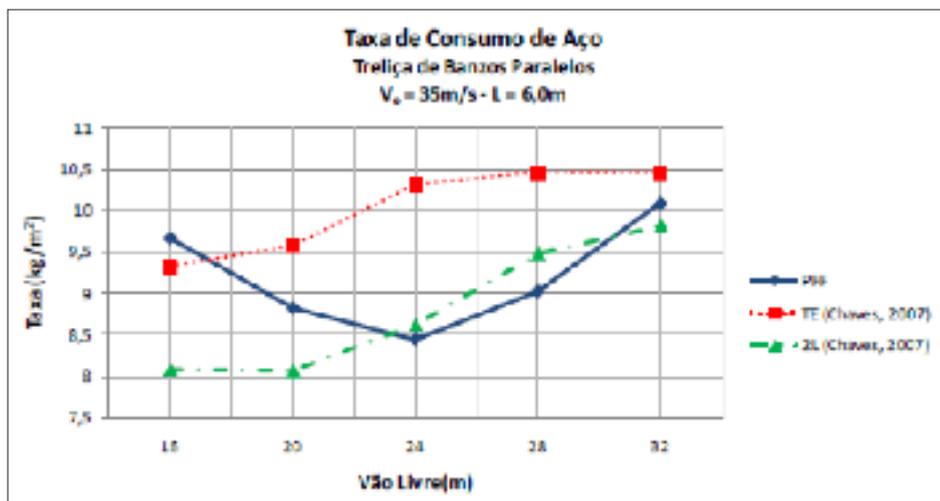
Observa-se na Figura 18 que os modelos avaliados por Chaves (2007) apresentam um desempenho melhor, do ponto de vista de taxa de consumo de aço, somente para o vão livre de 16m. Com o aumento do vão livre a solução empregando perfis formados a frio é mais vantajosa por resulta em uma menor taxa de consumo de aço.

Para uma melhor comparação de resultados do presente trabalho com os apresentados por Chaves (2007), realizou-se uma retroanálise em mais 20 modelos estruturais formados por pórticos principais empregando vigas treliçadas e a vinculação das bases engastadas. Admitindo-se em todos os modelos, a velocidade básica do vento, para determinação da pressão dinâmica devido à ação do vento, igual a 35m/s e espaçamento entre os pórticos transversais igual a 6m.

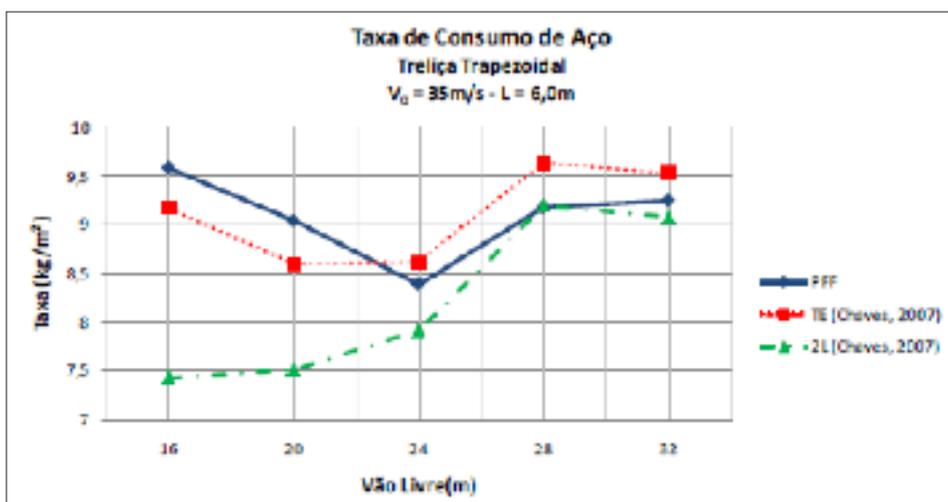
Nas Figuras 19 a 21 mostram os resultados, que possibilita comparar as taxas de consumo de aço, para as retroanálises.



**Figura 19**  
Comparativo da taxa de consumo de aço para a tipologia TA.



**Figura 20**  
Comparativo da taxa de consumo de aço para a tipologia BP.



**Figura 21**  
Comparativo da taxa de consumo de aço para a tipologia TP.

Analisando o emprego de perfis formados a frio nas vigas treliçadas de cobertura, observa-se que para o pórtico com treliça triangular o emprego desses perfis é mais vantajoso para vão livre superior a 20m quando comparado com outras soluções em perfis laminados. A tipologia com pórtico de treliça em arco constituída por perfis formados a frio apresenta melhor desempenho para qualquer vão livre, admitindo com parâmetro de avaliação a taxa de consumo de aço. Para o pórtico com banzos paralelos o uso de perfis formados a frio é ligeiramente significativo, em termos de consumo de aço, para os vãos livres iguais a 24 e 28m. O pórtico com treliça trapezoidal apresenta desempenho satisfatório com o uso dos perfis formados a frio apenas para modelos estruturais com vãos livres entre 24 e 28m, porém, perde para a solução com dupla cantoneira (2L) analisada por Chaves (2007).

## CONCLUSÕES

À medida que aumenta o vão livre do pórtico, maior é a influência da tipologia sobre a taxa de consumo de aço, verificando-se um melhor desempenho dos pórticos treliçados quando comparados com os pórticos compostos por perfis de alma cheia. Os resultados da taxa de consumo de aço demonstram que a tipologia em pórtico de alma cheia é competitiva em comparação às tipologias em pórticos treliçados apenas na faixa que compreende os vãos livres entre 20 a 28m.

Verifica-se que quanto maior for o espaçamento entre os pórticos transversais, menor será a taxa de consumo de aço. Isto permite concluir que é importante buscar soluções no sentido de viabilizar o aumento do espaçamento entre os pórticos, pois além do ganho com a taxa de consumo de aço reduz-se também o número de fundações a serem executadas.

Sobre o ponto de vista estrutural, conclui-se que dentre as tipologias e os parâmetros considerados nas análises, os pórticos treliçados apresentam melhor desempenho que os pórticos em perfis de alma cheia. Das tipologias em pórticos treliçados, admitindo os modelos com as bases engastadas, a treliça triangular e a treliça em arco registram menor valor para taxa de consumo de aço, enquanto que, para modelos com as bases rotuladas, a treliça de banzos paralelos e a treliça trapezoidal demonstram ser mais eficientes.

O fato de uma tipologia sobressair-se em relação às outras, não permite afirmar categoricamente que esta seja mais econômica do ponto de vista de projeto. Existem outras variáveis num projeto que condicionam a escolha de uma tipologia. Como exemplo, pode-se citar o pé-direito efetivo, caso haja a necessidade de armazenar objetos que ocupam uma altura maior e, provavelmente a tipologia que melhor irá atender aos requisitos de projeto será o pórtico com treliça em arco ou o pórtico com treliça de banzos paralelos.

Analisando comparativamente os valores das taxas de consumo de aço para as tipologias com pórticos transversais constituídos por perfis formados a frio (PFF) e por perfis laminados, pode-se concluir que os primeiros apresentam um bom desempenho justificando-se sua grande utilização em projetos para montagem de galpões industriais leves.

## AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Mestrado em Construção Metálica, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto.

## BIBLIOGRAFIA

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1988). NBR 6123. Forças Devidas ao Vento em Edificações. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2001). NBR 1472. Dimensionamento de Estruturas de Aço Constituídas por Perfis Formados a Frio. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2008). NBR 8800. Projeto de Estruturas de Aço e de Estrutura Mistas de Aço e de Concreto de Edifícios. Rio de Janeiro.

Bellei, I. H. (2006). Edifícios Industriais em Aço - Projeto e Cálculo. 5a edição. Editora PINI. São Paulo.

Carvalho, P. R. M. et al. (2006). Curso Básico de Perfis de Aço Formado a Frio. Porto Alegre.

Chaves, M. R. (2007). Avaliação do Desempenho de Soluções Estruturas para Galpões Leves. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto.

D'Alambert, F. (2004). Galpões em Pórticos com Perfis Estruturais Laminados - Coletânea do Uso do Aço. GERDAU Açominas. 2a edição. 5a edição V. 3. Belo Horizonte.

Sales, J. J. et al. (1994). Cobertura em Arco Metálico Treliçado – Exemplo de Cálculo. SET/EESC/USP. São Carlos.