

# ANÁLISE TRIDIMENSIONAL DE FORÇAS EM PEÇAS DE CONTRAVENTAMENTO DE TRELIÇAS DE MADEIRA

Rodolfo Costa de Medeiros<sup>1</sup> & Francisco Antonio Rocco Lahr<sup>2</sup>

## Resumo

*Este trabalho analisa as forças nas peças de contraventamento de treliças triangulares de madeira, por meio de modelagem numérica computacional utilizando o sistema Strap, considerando o funcionamento tridimensional da estrutura. Os valores obtidos são comparados aos valores propostos pela NBR 7190:1997 que considera a instabilidade lateral dos elementos contraventados. Também são comparados com os valores propostos pelos métodos da norma europeia Eurocode 5, da sul-africana SABS 0163 e do trabalho realizado por Underwood (2000). Os modelos computacionais representam galpões industriais de larguras 12, 18 e 24 metros, e comprimentos 24, 48 e 96 metros, com alturas de pilares 3, 4 e 6 metros. Os resultados obtidos mostram valores superiores aos propostos pela NBR 7190:1997, concluindo que o método de estimativa da norma não assegura as forças oriundas do funcionamento global da estrutura.*

*Palavras-chave: Estruturas de madeira. Treliças de madeira. Contraventamento.*

## THREE-DIMENSIONAL ANALYSIS OF FORCES IN BRACING ELEMENTS OF TIMBER TRUSSES

### Abstract

*This paper analyzes the forces in bracing members of timber trusses, through numerical modeling using the computational system Strap, considering the three-dimensional structure operation. The values obtained are compared to values set by the NBR 7190:1997 which considers the side instability of the bracing elements. The results are also compared with the values proposed by the methods of the European standard Eurocode 5, the South African SABS 0163 and with the work done by Underwood (2000). The computer models represent industrial sheds of widths 12, 18 and 24 meters, and lengths 24, 48 and 96 meters, with heights of pillars 3, 4 and 6 meters. The results show higher values than those proposed by the NBR 7190:1997, concluding that the method of estimating of the standard NBR 7190:1997 does not ensure the forces from the three-dimensional behaviour of the structure.*

*Keywords: Timber structures. Timber trusses. Bracing.*

## 1 INTRODUÇÃO

O contraventamento é um subsistema estrutural de travamento das estruturas planas com a finalidade de manter a estabilidade dos elementos que a compõem. Este subsistema garante que a estrutura trabalhe de acordo com os critérios de estabilidade considerados em projeto, para cada elemento constituinte da estrutura.

As estruturas planas de madeira mais usuais são as treliças, bastante utilizadas em coberturas. O contraventamento é parte indispensável neste sistema estrutural. A NBR 7190:1997 propõe o método de estimativa de forças atuantes nas peças de contraventamento baseado na instabilidade lateral dos elementos empenados com curvatura da ordem de  $\lambda/300$ .

<sup>1</sup> Mestre em Engenharia de Estruturas - EESC-USP, rmedeiros@sc.usp.br

<sup>2</sup> Professor do Departamento de Engenharia de Estruturas da EESC-USP, frocco@sc.usp.br

A análise estrutural tridimensional – que considera o contraventamento no funcionamento global da estrutura – apresenta valores de forças nos elementos de contraventamento superiores ao do modelo estabelecido pela NBR 7190:1997 de estimativa de esforços mínimos – na ausência de uma análise rigorosa – no contraventamento, podendo, assim, resultar em valores contra a segurança das estruturas.

Este trabalho busca analisar as forças atuantes no contraventamento de treliças de madeira. Na análise é feita a modelagem numérica dos galpões por meio da ferramenta computacional STRAP. Os modelos apresentados buscam retratar estruturas de média a grandes proporções e sem a consideração dos elementos de vedação resistindo a esforços, assim apresentando valores dos casos mais desfavoráveis, para avaliação de valores mínimos na ausência de uma análise rigorosa.

Os objetivos deste trabalho são:

- estimar as forças de projeto atuantes nos elementos de contraventamento de estruturas de treliças triangulares de madeira por meio de modelos numéricos computacionais;
- comparar as forças obtidas na modelagem tridimensional com os valores obtidos pelo método de estimativa apresentado na NBR 7190:1997 e outras normas internacionais.

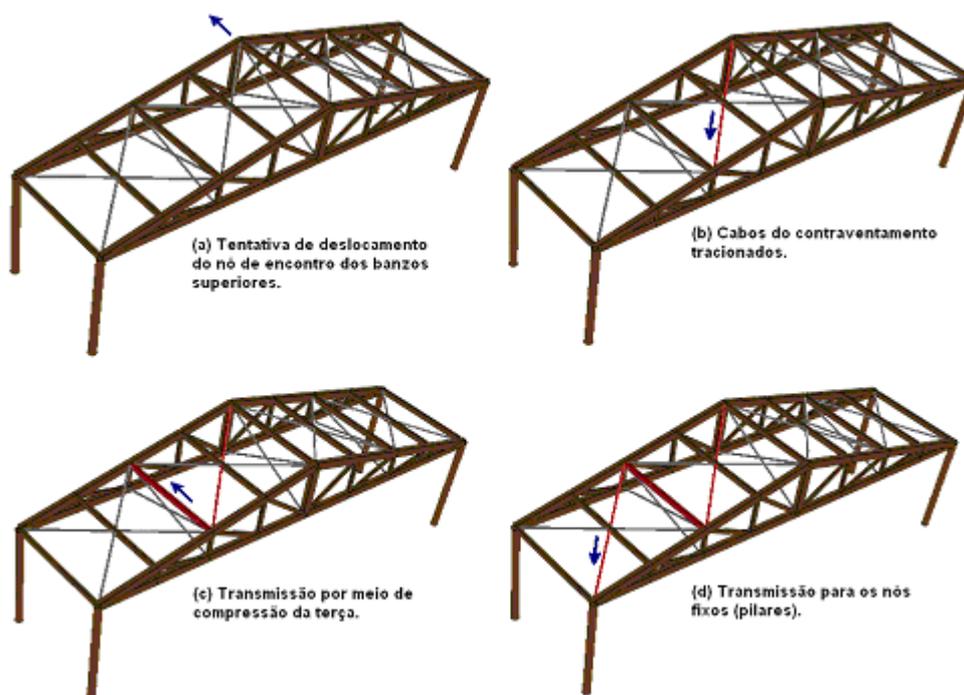


Figura 1 – Esquema de funcionamento do contraventamento.

## 2 METODOLOGIA

Os resultados são comparados aos valores obtidos pela NBR 7190:1997 e pelos métodos da norma europeia Eurocode 5, da sul-africana SABS 0163 e do trabalho realizado por Underwood (2000). A seguir é feita uma breve apresentação dos métodos.

### 2.1 NBR 7190:1997

A NBR 7190:1997 fixa, no item 7.6.4 *Estabilidade global de elementos estruturais em paralelo*, as prescrições para contraventamento lateral de um sistema estrutural formado por elementos paralelos como no caso de coberturas de treliças de madeira. O sistema de contraventamento deve ser composto por treliças dispostas perpendicularmente ao plano das estruturas principais, nos planos horizontal, vertical e no plano da cobertura. Este sistema de travamento deve existir nas extremidades

da construção e em eventuais posições intermediárias, existindo em um de cada três vãos definidos pelos elementos do sistema principal, não excedendo o espaçamento de 20 metros.

Em cada nó contraventado, do banço comprimido do sistema principal, deve ser considerada uma força transversal  $F_{1d}$  de valor  $N_d/150$ , onde  $N_d$  é a resultante das tensões no banço comprimido, como mostra na Figura 2.

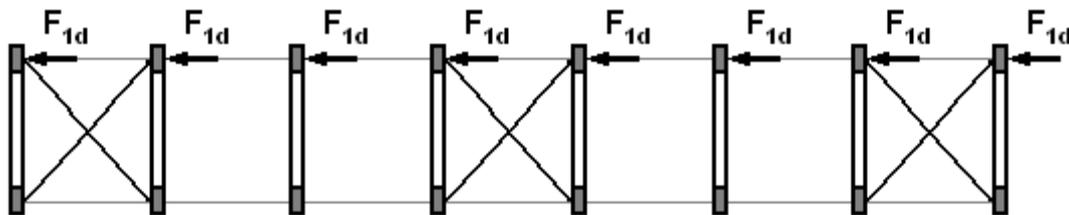


Figura 2 – Arranjo vertical de contraventamento.

As estruturas de contraventamento devem resistir a uma força  $F_d$  de valor maior ou igual a  $2/3$  da resultante das  $n$  forças  $F_{d1}$  existentes no trecho a ser estabilizado, como mostrado na Figura 3.

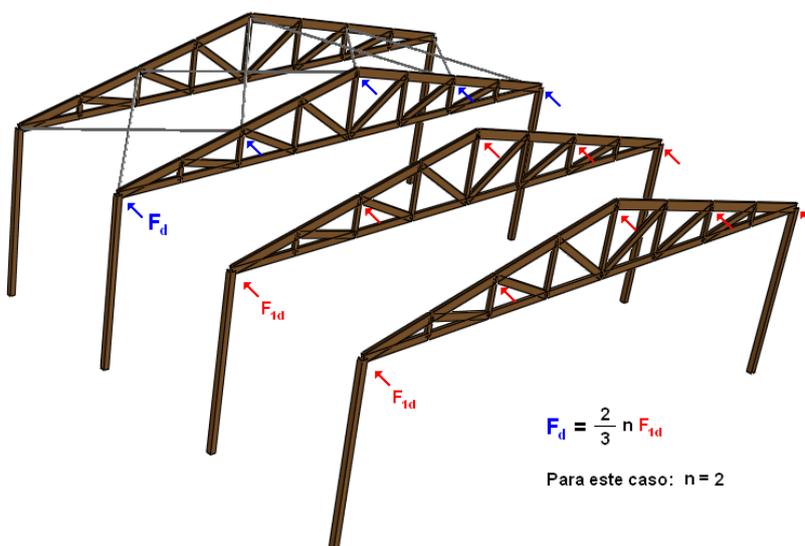


Figura 3 – Arranjo de forças no contraventamento.

## 2.2 EUROCODE 5

No lugar do valor  $N_d/150$  apresentado pela NBR 7190:1997 o EUROCODE 5 adota os valores:  $N_d/50$  para madeira serrada e  $N_d/80$  para madeira laminada colada. Esse valor ( $N/50$ ) representa 2% da força axial máxima da peça contraventada – baseado nos estudos de William Zuk (1956) – e é multiplicado pelo número de elementos contraventados em paralelo para obtenção da força no nó contraventado.

## 2.3 UNDERWOOD

UNDERWOOD (2000), baseando-se nos resultados de seu estudo, propõe valores da ordem de 3,1% da força máxima na treliça ( $N/32$ ).

## 2.4 SABS 0163

A norma sul-africana de dimensionamento de estruturas de madeira adota a seguinte formulação:

$$P_L = \frac{0,10 \cdot P_A}{(N + 1)} \quad (1)$$

Onde:

$P_L$  = força em cada elemento de contraventamento lateral

$P_A$  = força axial máxima na treliça devido à carga permanente

$N$  = número de restrições ao longo da treliça

$$C_{PLN} = P_L \cdot n^{0,7} \quad (2)$$

Onde:

$P_L$  = força em cada elemento de contraventamento lateral

$n$  = número de treliças contraventadas

## 3 DESENVOLVIMENTO

Os modelos tridimensionais foram confeccionados no STRAP (Structural Analysis Programs). O programa utiliza o Método dos Elementos Finitos para análises de esforços em estruturas. Utilizou-se a versão STRAP 2008, e os modelos constituídos de elementos de barras e a análise dos esforços realizada de forma linear.

### 3.1 Geometrias dos modelos

Os modelos computacionais foram analisados com dois tipos de geometrias, sendo: a treliça plana isostática (forma clássica) e o modelo tridimensional formado pelos pórticos, terças e contraventamentos.

#### 3.1.1 Treliças planas

O modelo de treliça plana, o mais simples e mais utilizado na prática, fornece os valores usuais de projeto, base para cálculo dos esforços de projeto nas peças de contraventamento segundo os métodos estudados: NBR 7190:1997, EUROCODE 5, UNDERWOOD (2000) e SABS 0163.

São 11 modelos de treliças para cada tipo (Howe e Pratt) e classe (C30 e C50) estudados, sendo 44 modelos de treliças. Também são analisados o tipo Pratt C50 considerando telhas metálicas e 7 modelos tipo Pratt C50 considerando telhas cerâmicas, para as treliças até 18 metros e espaçamento igual a 3 metros. Totalizando 61 modelos.

#### 3.1.2 Galpões completos

Foram consideradas 21 geometrias base de galpões industriais de estruturas de madeira. Os modelos foram analisados para os tipos Howe e Pratt, as classes C30 e C50, o contraventamento com todos os nós da treliça contraventados e com um a cada dois nós da treliça contraventado, e os modelos tipo Pratt de classe C50 foram analisados também com contraventamento de madeira, telhas metálicas e telhas cerâmicas, o que totaliza 238 modelos de galpões.

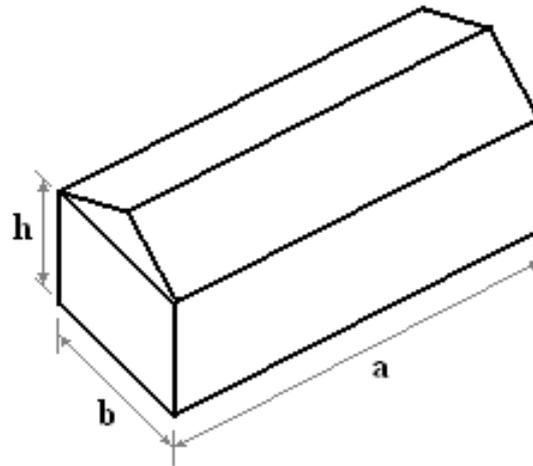


Figura 4 – Esquema das geometrias dos galpões.

Os valores obtidos nos modelos tridimensionais têm por finalidade analisar o funcionamento em conjunto do contraventamento com a estrutura.

Tabela.1 – Geometrias dos galpões

<b>Galpão</b>	<b>Planta <i>b x a</i></b>	<b><i>z</i> (altura)</b>	<b><i>e</i> (vão entre treliças)</b>
1		3	
2	12 x 24	4	
3		6	
4		3	
5	12 x 48	4	
6		6	
7		3	3
8	18 x 24	4	
9		6	
10		3	
11	18 x 48	4	
12		6	
13		6	4
14		3	
15	24 x 48	4	3
16		6	
17		6	4
18		3	
19	24 x 96	4	3
20		6	
21		6	4

### 3.2 Propriedades das barras

A rigidez de cada barra dos modelos é considerada pela seção e pelo módulo de elasticidade parametrizado no programa. Os valores para peças de madeira são estimados a partir dos valores estudados no Laboratório de Madeira e Estruturas de Madeira LaMEM e publicados por CALIL JR. (2008), e para obtenção do valor de projeto do módulo de elasticidade efetivo  $E_{co,ef}$  são multiplicados pelo coeficiente de correção  $K_{mod}$  igual a 0,56. Para as barras de aço foi considerado o módulo de elasticidade de 195.000 MPa.

### 3.3 Condições de contorno

Foram consideradas todas as ligações entre barras como rotuladas. Nos modelos em que as barras de contraventamento são de aço, consideram-se resistentes apenas a esforços de tração devido à alta esbelteza das mesmas e do uso de cabos na prática de execução. Todas as barras constituintes do contraventamento são bi-rotuladas, inclusive as terças. Os apoios dos pórticos são representados por engastamento nas bases dos pilares.

### 3.4 Ações atuantes

As ações consideradas nos modelos computacionais buscam representar os possíveis casos mais desfavoráveis na estrutura em serviço. São considerados: o peso próprio da estrutura segundo a NBR 7190:1997; o peso do telhado; e o vento representado pelas ações estáticas dos ventos segundo a NBR 6123:1988.

As telhas são representadas por carregamentos distribuídos no plano da cobertura com os valores de acordo com o tipo de telha adotada no modelo, sendo: 50 N/m<sup>2</sup> (telhas metélicas), 180 N/m<sup>2</sup> (telhas de fibrocimento e 800 N/m<sup>2</sup> (telhas cerâmicas).

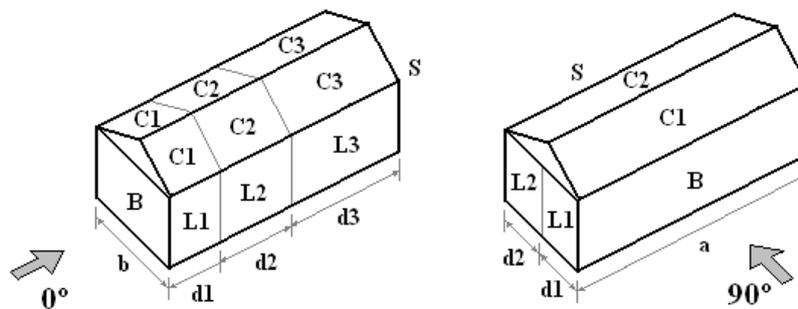


Figura 5 – Esquema da distribuição das ações dos ventos.

A ação estática devida ao vento – como mostra a Tabela 2 foi determinada supondo os galpões na situado na área industrial da cidade de São Carlos em terreno plano com poucas ondulações, considerando a velocidade característica do vento igual a 40 metros por segundo.

Tabela 2 – Ações estáticas externas dos ventos

FACE		<i>DISTÂNCIAS (m) E AÇÕES ESTÁTICAS DOS VENTOS (daN/m<sup>2</sup>)</i>																		
		VENTO A 0°											VENTO A 90°							
		d1	d2	d3	B	C1	C2	C3	L1	L2	L3	S	d1	d2	B	C1	C2	L1	L2	S
GALPÃO	1	6	6	12	37	-43	-32	-11	-43	-21	-11	-16	6	6	37	-53	-21	-48	-27	-27
	2	6	6	12	40	-46	-35	-12	-46	-23	-12	-17	6	6	40	-58	-23	-52	-29	-29
	3	6	6	12	44	-50	-37	-12	-50	-25	-12	-19	6	6	44	-62	-25	-56	-31	-31
	4	6	18	24	37	-43	-32	-11	-43	-21	-11	-16	6	6	37	-53	-21	-48	-27	-27
	5	8	16	24	40	-46	-35	-12	-46	-23	-12	-17	6	6	40	-58	-23	-52	-29	-29
	6	6	18	24	44	-50	-37	-12	-50	-25	-12	-19	6	6	44	-62	-25	-56	-31	-31
	7	6	6	12	37	-43	-32	-16	-43	-27	-16	-21	6	12	37	-53	-21	-43	-21	-21
	8	6	6	12	40	-46	-35	-17	-46	-29	-17	-23	8	10	40	-58	-23	-46	-23	-23
	9	6	6	12	44	-50	-37	-19	-50	-31	-19	-25	9	9	44	-62	-25	-50	-25	-25
	10	6	18	24	37	-43	-32	-11	-43	-21	-11	-16	6	12	37	-53	-21	-48	-27	-27
	11	8	16	24	40	-46	-35	-12	-46	-23	-12	-17	8	10	40	-58	-23	-52	-29	-29
	12	12	12	24	44	-50	-37	-12	-50	-25	-12	-19	9	9	44	-62	-25	-56	-31	-31
	13	12	12	24	44	-50	-37	-12	-50	-25	-12	-19	9	9	44	-62	-25	-56	-31	-31
	14	6	18	24	37	-43	-32	-11	-43	-21	-11	-16	6	18	37	-53	-21	-48	-27	-27
	15	8	16	24	40	-46	-35	-12	-46	-23	-12	-17	8	16	40	-58	-23	-52	-29	-29
	16	12	12	24	44	-50	-37	-12	-50	-25	-12	-19	12	12	44	-62	-25	-56	-31	-31
	17	12	12	24	44	-50	-37	-12	-50	-25	-12	-19	12	12	44	-62	-25	-56	-31	-31
	18	6	42	48	35	-40	-30	-10	-40	-20	-10	-15	8	16	35	-50	-20	-45	-25	-25
	19	8	40	48	38	-44	-33	-11	-44	-22	-11	-16	8	16	38	-55	-22	-49	-27	-27
	20	12	36	48	43	-49	-36	-12	-49	-24	-12	-18	12	12	43	-61	-24	-55	-30	-30
	21	12	36	48	43	-49	-36	-12	-49	-24	-12	-18	12	12	43	-61	-24	-55	-30	-30

Também foram consideradas ações internas dos ventos e ações para o caso de coberturas isoladas como mostrado na Tabela 3 e 4.

Tabela 3 – Ações internas dos ventos

$C_i$		<i>Ação característica do vento (daN/m<sup>2</sup>)</i>					
		53,3	62,4	50,4	60,8	57,8	54,8
Sobrepressão interna	+0,8	43	50	40	49	46	44
Sucção interna	-0,9	48	56	45	55	52	49

Tabela 4 – Ação dos ventos em coberturas isoladas

$C_e$		<i>Ação característica do vento (daN/m<sup>2</sup>)</i>					
		53,3	62,4	50,4	60,8	57,8	54,8
1° carregamento	1,2	64	75	61	73	69	66
	0,3	16	19	15	18	17	16
2° carregamento	0,6	32	37	30	37	35	33
	1,0	53	62	50	61	58	55

## 4 RESULTADOS

Para os modelos analisados, as variações entre classes de resistência, tipo de treliça e tipo de telhas apresentaram valores similares, sem diferenças significativas. A seguir são apresentados e comparados os valores obtidos por meio de tabelas e gráficos comparativos para os modelos mais desfavoráveis, resultado da classe de madeira C50, treliça Pratt e telha tipo metálica.

Tabela 5 – Forças obtidas pelos métodos estudados considerando o modelo plano

<b>GEOMETRIAS DAS TRELIÇAS</b>												
L (vão)		12	12	12	18	18	18	18	24	24	24	24
h (altura central)		1,5	1,5	1,5	2,25	2,25	2,25	2,25	3	3	3	3
z (altura do pilar)		3	4	6	3	4	6	6	3	4	6	6
e (dist. entre treliças)		3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	4
Compressão <sub>máx</sub> (kN)		65,9	68,3	74,0	116,8	120,7	126,5	160,3	185,3	190,8	202,5	244,6
<b>MÉTODO NBR 7190:1997</b>												
<b>F<sub>d</sub> (kN)</b>	F <sub>1d</sub>	0,4	0,5	0,5	0,8	0,8	0,8	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6
	n 7	2,1	2,1	2,3	3,6	3,8	3,9	-	-	-	-	-
	n 11	-	-	-	-	-	-	7,8	-	-	-	12,0
	n 15	4,4	4,6	4,9	7,8	8,0	8,4	-	12,4	12,7	13,5	-
	n 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25,0
	n 31	-	-	-	-	-	-	-	25,5	26,3	27,9	-
<b>MÉTODO EUROCODE 5</b>												
<b>F<sub>d</sub> (kN)</b>	F <sub>1d</sub>	1,3	1,4	1,5	2,3	2,4	2,5	3,2	3,7	3,8	4,1	4,9
	n 7	6,2	6,4	6,9	10,9	11,3	11,8	-	-	-	-	-
	n 11	-	-	-	-	-	-	23,5	-	-	-	35,9
	n 15	13,2	13,7	14,8	23,4	24,1	25,3	-	37,1	38,2	40,5	-
	n 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75,0
	n 31	-	-	-	-	-	-	-	76,6	78,9	83,7	-
<b>MÉTODO UNDERWOOD (2000)</b>												
<b>F<sub>d</sub> (kN)</b>	F <sub>1d</sub>	2,1	2,1	2,3	3,7	3,8	4,0	5,0	5,8	6,0	6,3	7,6
	n 7	9,6	10,0	10,8	17,0	17,6	18,4	-	-	-	-	-
	n 11	-	-	-	-	-	-	36,7	-	-	-	56,1
	n 15	20,6	21,3	23,1	36,5	37,7	39,5	-	57,9	59,6	63,3	-
	n 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	117,2
	n 31	-	-	-	-	-	-	-	119,7	123,2	130,8	-
<b>MÉTODO SABS 0163</b>												
Compressão <sub>perm</sub> (kN)		20,1			41,3			46,7		86,0		89,4
<b>F<sub>d</sub> (kN)</b>	F <sub>1d</sub>	0,5			0,7			0,8		1,1		1,1
	n 7	2,3	2,3	2,3	3,2	3,2	3,2	-	-	-	-	
	n 11	-	-	-	-	-	-	5,7	-	-	-	8,2
	n 15	5,0	6,9	5,0	6,9	6,9	6,9	-	10,8	10,8	10,8	-
	n 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17,1
	n 31	-	-	-	-	-	-	-	22,2	22,2	22,2	-

Tabela 6 – Forças obtidas nos modelos tridimensionais

<i>FORÇA AXIAL MÁXIMA (kN)</i>						
<b>Galpão</b>	Todos os nós contraventados			Um cada dois nós contraventado		
	BANZO (compr.)	TERÇA (compr.)	CONTR. (tração)	BANZO (compr.)	TERÇA (compr.)	CONTR. (tração)
<b>1</b>	<b>71,0</b>	12,4	10,0	68,6	<b>12,4</b>	<b>14,9</b>
<b>2</b>	<b>75,9</b>	16,3	12,2	72,2	<b>16,3</b>	<b>17,3</b>
<b>3</b>	<b>80,4</b>	23,5	16,3	78,1	<b>23,5</b>	<b>20,6</b>
<b>4</b>	<b>72,2</b>	12,7	10,1	70,2	<b>12,7</b>	<b>14,7</b>
<b>5</b>	<b>75,9</b>	16,8	12,5	73,9	<b>16,8</b>	<b>17,2</b>
<b>6</b>	<b>105,7</b>	23,9	17,0	100,1	<b>23,9</b>	<b>20,9</b>
<b>7</b>	<b>121,0</b>	9,0	18,0	117,3	<b>13,0</b>	<b>26,8</b>
<b>8</b>	<b>126,7</b>	11,3	24,9	123,1	<b>15,7</b>	<b>36,4</b>
<b>9</b>	<b>134,0</b>	15,4	34,8	130,2	<b>18,4</b>	<b>47,6</b>
<b>10</b>	<b>121,0</b>	9,5	19,6	118,0	<b>16,2</b>	<b>27,4</b>
<b>11</b>	<b>126,8</b>	12,0	24,7	123,8	<b>18,0</b>	<b>36,2</b>
<b>12</b>	<b>134,1</b>	17,0	37,2	131,1	<b>20,8</b>	<b>49,9</b>
<b>13</b>	<b>171,4</b>	18,8	37,8	167,2	<b>19,1</b>	<b>47,6</b>
<b>14</b>	<b>195,0</b>	<b>33,2</b>	28,8	191,1	32,7	<b>31,4</b>
<b>15</b>	<b>202,9</b>	34,8	43,5	199,0	<b>43,1</b>	<b>38,6</b>
<b>16</b>	<b>212,7</b>	<b>60,0</b>	51,5	208,8	59,8	<b>61,6</b>
<b>17</b>	<b>258,4</b>	<b>59,3</b>	52,5	253,3	59,2	<b>63,6</b>
<b>18</b>	<b>192,1</b>	<b>32,0</b>	26,2	187,8	31,4	<b>27,7</b>
<b>19</b>	<b>200,1</b>	<b>40,9</b>	32,7	195,8	40,4	<b>35,4</b>
<b>20</b>	<b>192,1</b>	<b>59,6</b>	50,6	187,8	59,3	<b>60,5</b>
<b>21</b>	<b>237,6</b>	<b>59,2</b>	51,4	235,3	58,8	<b>61,4</b>

Tabela 7 – Comparativo entre o método da NBR 7190 (1997) e os modelos tridimensionais (PRATT C50 telha metálica)

<b>GEOMETRIAS DAS TRELIÇAS</b>												
L (vão)		12	12	12	18	18	18	18	24	24	24	24
h (altura central)		1,5	1,5	1,5	2,25	2,25	2,25	2,25	3	3	3	3
z (altura do pilar)		3	4	6	3	4	6	6	3	4	6	6
e (dist. entre treliças)		3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	4
<b>MÉTODO NBR 7190:1997</b>												
Compressão <sub>máx</sub> (kN)		65,9	68,3	74,0	116,8	120,7	126,5	160,3	185,3	190,8	202,5	244,6
<b>F<sub>d</sub> (kN)</b>	F <sub>1d</sub>	0,4	0,5	0,5	0,8	0,8	0,8	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6
	n = 7	2,1	2,1	2,3	3,6	3,8	3,9	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	7,8	-	-	-	12,0
	n = 15	4,4	4,6	4,9	7,8	8,0	8,4	-	12,4	12,7	13,5	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25,0
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	25,5	26,3	27,9	-
<b>MODELOS NUMÉRICOS</b>												
Compressão <sub>máx</sub> (kN)		72,2	75,9	105,7	121,0	134,1	134,1	171,4	195,0	202,9	212,7	258,4
<b>N<sub>d,t</sub> (kN) Terças</b>	n = 7	12,4	16,3	23,5	13,0	15,7	18,4	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	19,1	-	-	-	59,3
	n = 15	12,7	16,8	24,0	16,2	18,0	20,8	-	33,2	43,1	60,0	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	59,2
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	32,0	40,9	59,6	-
<b>COMPARATIVO Galpão/Treliça</b>												
Compressão <sub>máx</sub> (kN)		<b>1,10</b>	<b>1,11</b>	<b>1,43</b>	<b>1,04</b>	<b>1,11</b>	<b>1,06</b>	<b>1,07</b>	<b>1,05</b>	<b>1,06</b>	<b>1,05</b>	<b>1,06</b>
<b>N<sub>d,t</sub>/F<sub>d</sub></b>	n = 7	<b>6,05</b>	<b>7,67</b>	<b>10,21</b>	<b>3,58</b>	<b>4,18</b>	<b>4,68</b>	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	<b>2,44</b>	-	-	-	<b>4,96</b>
	n = 15	<b>2,89</b>	<b>3,69</b>	<b>4,86</b>	<b>2,08</b>	<b>2,24</b>	<b>2,47</b>	-	<b>2,69</b>	<b>3,39</b>	<b>4,44</b>	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<b>2,37</b>
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	<b>1,25</b>	<b>1,56</b>	<b>2,14</b>	-

Tabela 8 – Comparativo entre o método do EUROCODE 5 e os modelos tridimensionais (PRATT C50 telha metálica)

<b>GEOMETRIAS DAS TRELIÇAS</b>												
L (vão)		12	12	12	18	18	18	18	24	24	24	24
h (altura central)		1,5	1,5	1,5	2,25	2,25	2,25	2,25	3	3	3	3
z (altura do pilar)		3	4	6	3	4	6	6	3	4	6	6
e (dist. entre treliças)		3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	4
<b>MÉTODO EUROCODE 5</b>												
Compressão <sub>máx</sub> (kN)		65,9	68,3	74,0	116,8	120,7	126,5	160,3	185,3	190,8	202,5	244,6
<b>F<sub>d</sub> (kN)</b>	F <sub>1d</sub>	1,3	1,4	1,5	2,3	2,4	2,5	3,2	3,7	3,8	4,1	4,9
	n = 7	6,2	6,4	6,9	10,9	11,3	11,8	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	23,5	-	-	-	35,9
	n = 15	13,2	13,7	14,8	23,4	24,1	25,3	-	37,1	38,2	40,5	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75,0
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	76,6	78,9	83,7	-
<b>MODELOS NUMÉRICOS</b>												
Compressão <sub>máx</sub> (kN)		72,2	75,9	105,7	121,0	134,1	134,1	171,4	195,0	202,9	212,7	258,4
<b>N<sub>d,t</sub> (kN) Terças</b>	n = 7	12,4	16,3	23,5	13,0	15,7	18,4	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	19,1	-	-	-	59,3
	n = 15	12,7	16,8	24,0	16,2	18,0	20,8	-	33,2	43,1	60,0	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	59,2
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	32,0	40,9	59,6	-
<b>COMPARATIVO Galpão/Treliça</b>												
Compressão <sub>máx</sub> (kN)		<b>1,10</b>	<b>1,11</b>	<b>1,43</b>	<b>1,04</b>	<b>1,11</b>	<b>1,06</b>	<b>1,07</b>	<b>1,05</b>	<b>1,06</b>	<b>1,05</b>	<b>1,06</b>
<b>N<sub>d,t</sub>/F<sub>d</sub></b>	n = 7	<b>2,02</b>	<b>2,56</b>	<b>3,40</b>	<b>1,19</b>	<b>1,39</b>	<b>1,56</b>	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	<b>0,81</b>	-	-	-	<b>1,65</b>
	n = 15	<b>0,96</b>	<b>1,23</b>	<b>1,62</b>	<b>0,69</b>	<b>0,75</b>	<b>0,82</b>	-	<b>0,90</b>	<b>1,13</b>	<b>1,48</b>	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<b>0,79</b>
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	<b>0,42</b>	<b>0,52</b>	<b>0,71</b>	-

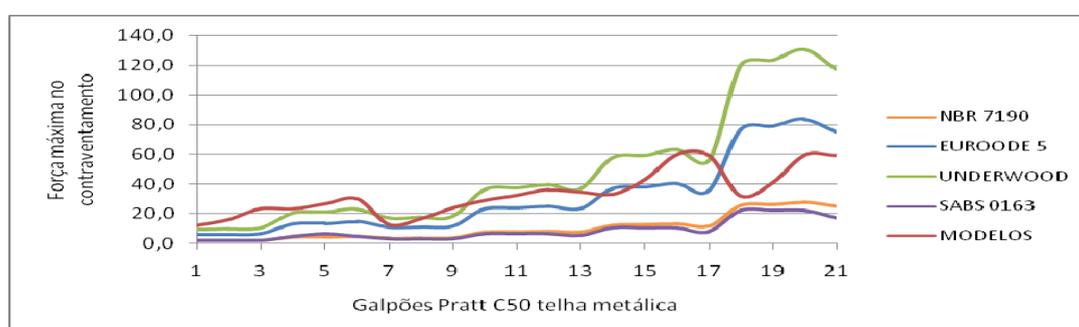


Figura 6 – Linhas comparativas dos métodos (PRATT C50 telha metálica).

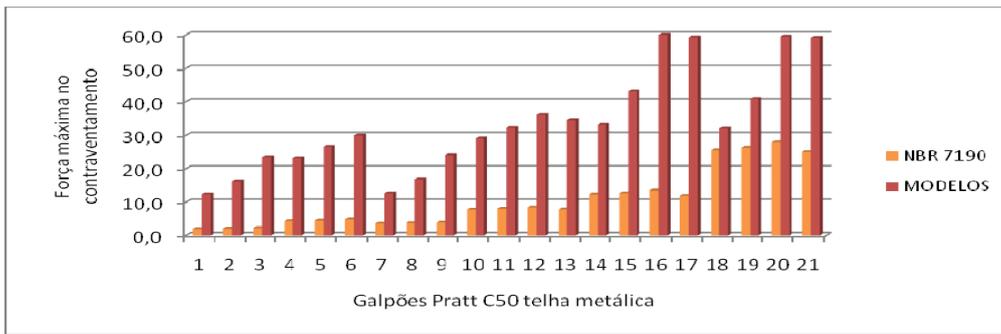


Figura 7 – Colunas comparativas do método NBR 7190 (PRATT C50 telha metálica).

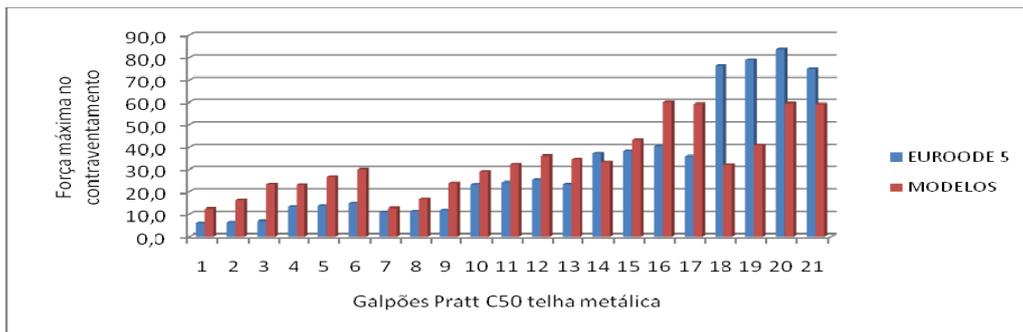


Figura 8 – Colunas comparativas do método EUROCODE 5 (PRATT C50 telha metálica).

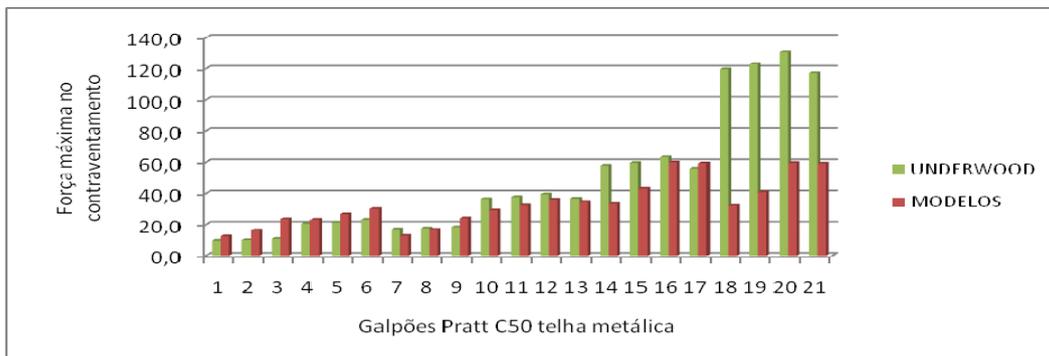


Figura 9 – Colunas comparativas do método UNDERWOOD (PRATT C50 telha metálica).

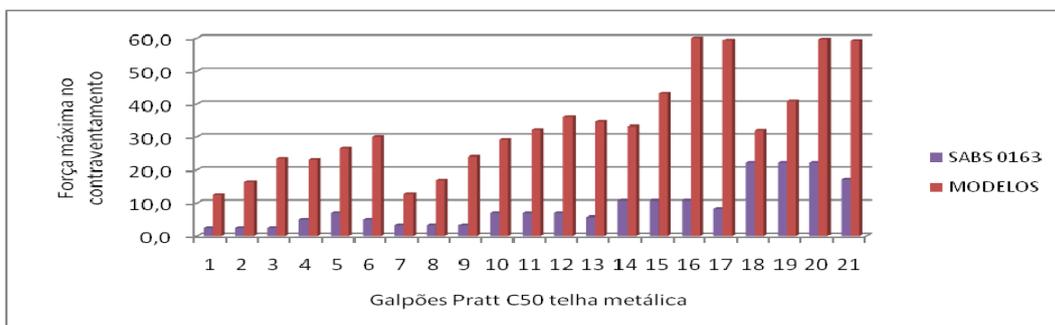


Figura 10 – Colunas comparativas do método SABS 0163 (PRATT C50 telha metálica).

## 5 CONCLUSÕES

O método da NBR 7190:1997 de estimativa da força mínima em barras integrantes do contraventamento de estruturas treliçadas leva a valores inferiores aos obtidos nos modelos tridimensionais que consideram o funcionamento global da estrutura. Apresentam, assim, valores que possam comprometer a segurança das referidas estruturas.

O aumento do número de treliças paralelas nos modelos tridimensionais não provocou aumento da força no contraventamento, ao contrário de que ocorre nos métodos baseados na instabilidade lateral dos elementos.

Sugere-se, finalmente, que os projetos de estruturas treliçadas para cobertura sejam desenvolvidos considerando o funcionamento global da estrutura ou outras análises mais refinadas, tendo em vista as ferramentas computacionais hoje disponíveis à análise estrutural. Deste modo, serão evitados eventuais problemas decorrentes da adoção dos parâmetros propostos pela NBR 7190:1997 no tocante às forças nas barras integrantes do contraventamento.

## 6 REFERÊNCIAS

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

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

CALIL JR., C. South America Timber Structures Code. In: INTERNATIONAL CONVENTION OF SOCIETY OF WOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY. 51., **Proceedings...** Concepción, Chile, 2008.

MEDEIROS, R. C. **Forças em peças de contraventamento de treliças de madeira**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2010.

UNDERWOOD, C. R. **Permanent bracing design for MPC Wood roof truss webs and chords**. Master of Science Thesis, Blacksburg: Virginia Polytechnic Institute and State University, 2000.

