

## **DIMENSIONAMENTO E LEVAMENTO DE CUSTOS DE UMA TRELIÇA DE MADEIRA EM COBERTURAS DE PAVILHÕES UTILIZANDO COMO PARÂMETRO UMA TRELIÇA METÁLICA**

Hairon Mazzucco Zanini (1), Marcio Vito (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
(1)[hairon.engenharia@gmail.com](mailto:hairon.engenharia@gmail.com), (2) [marciovito@unesc.net](mailto:marciovito@unesc.net)

### **RESUMO**

A madeira é um material muito utilizado em nossa região na confecção de estrutura para coberturas, principalmente por possuir elevada resistência à tração e a compressão paralela às fibras, com fácil obtenção, ótima agilidade na fabricação e por ser sustentável. Com a finalidade de verificar a viabilidade econômica de uma estrutura de cobertura treliçada em madeirado tipo Eucalipto Grandis tratado com preservante do tipo CCA, utilizando como parâmetro uma treliça em aço ASTM MR250 composta de perfis do tipo “U”, foi efetuado o dimensionamento de forma a elaborar um comparativo dos custos de fabricação. As treliças foram dimensionadas para um pavilhão industrial, comumente utilizado em nossa região, vão livre de 15m, espaçadas a cada 5m. Foi adotado um diâmetro de 15cm para o cálculo da madeira e para o aço foi dimensionado um perfil através dos esforços de compressão e tração. Os mesmos valores de sobrecarga, carga de vento, carga da telha e instalações, foram utilizados para os dimensionamentos. Foi observado com as cargas obtidas e com os dimensionamentos realizados que o peso próprio das estruturas é irrelevante, mesmo o aço tendo um peso específico 10 vezes maior que a madeira. No entanto analisando a quantidade de materiais utilizados, observamos os perfis adotados, na qual a madeira teve que utilizar uma seção transversal com área de 213,82 cm<sup>2</sup>, enquanto o aço utilizou apenas 19,90 cm<sup>2</sup> de área. Foram efetuados dois orçamentos para cada material, em quatro empresas situadas na região carbonífera do sul de Santa Catarina. Verificamos que a madeira, mesmo utilizando uma quantidade de material muito maior, ela continua mais viável economicamente em relação ao aço, sendo que a grande diferença verificada é o custo de fabricação. Os dados para cálculo foram retirados das normas NBR 7190/97, NBR 8800/08 e bibliografias referenciadas.

*Palavras-chave: Aço; Madeira; Custos; Fabricação; Dimensionamento.*



## 1. INTRODUÇÃO

A madeira possui diversas propriedades que a tornam muito atraente frente a outros materiais. Dentre essas, são comumente citados o baixo consumo de energia para seu processamento, a alta resistência à tração e a compressão, as boas características de isolamento térmico e elétrico, além de ser um material muito fácil de ser trabalhado manualmente ou por máquinas. (Gesualdo, 2003)

O aspecto, no entanto, que distingue a madeira dos demais materiais é a possibilidade de produção sustentada nas florestas nativas e plantada, e nas modernas técnicas empregadas nos reflorestamentos, que permitem alterar a qualidade da matéria-prima de acordo com o uso final desejado. (Calil Junior, 2003)

Para Pfeil (2003), O fato de a madeira ser o resultado do crescimento de um ser vivo, implica em variações das suas características em função do meio ambiente em que a árvore se desenvolve. A esta variabilidade acrescenta-se que a madeira é produzida por diferentes espécies de árvores, cada qual com características anatômicas, físicas e mecânicas próprias.

A madeira é um material higroscópico, sendo que várias de suas propriedades são afetadas pelo teor de umidade presente, relata Pfeil (2003). Sua natureza biológica submete-a aos diversos mecanismos de deterioração existentes na natureza. A essas características negativas acrescenta-se sua susceptibilidade ao fogo. Essas desvantagens da madeira podem ser eliminadas ou, ao menos, minimizadas, bastando para tal o emprego de tecnologias já disponíveis e de uso consagrado nos países desenvolvidos. (Gesualdo, 2003)

Gesualdo (2003) afirma que o desconhecimento das propriedades da madeira por muitos de seus usuários, são as maiores causas de desempenho insatisfatório da madeira frente a outros materiais.

É comum se ouvir a frase arraigada na sociedade "a madeira é um material fraco". Isto revela um alto grau de desconhecimento, gerado pela própria sociedade. Em função disto, não se pode tomar como exemplo a maioria das estruturas de madeira já construídas sem projeto, pois podem fazer parte do rol de estruturas



"contaminadas" pelo menosprezo à madeira ou procedentes de maus projetos. (Gesualdo, 2003)

A madeira é empregada na construção civil, de forma temporária, na instalação do canteiro de obras, nos andaimes, nos escoramentos e nas fôrmas. De forma definitiva, é utilizada nas esquadrias, nas estruturas de cobertura, nos forros e nos pisos. (Gesualdo, 2003)

O uso da madeira parece representar um imenso desastre ecológico para o leigo. No entanto, de acordo com SZÜCS (2005) é esquecido que a madeira é um material renovável e que durante a sua produção (crescimento) a árvore consome impurezas da natureza, transformando-as em madeira. A não utilização da árvore depois de vencida sua vida útil devolverá à natureza todas as impurezas nela armazenada.

Outro ponto importante é o qual não se deve esquecer jamais que a extração da árvore e o seu desdobro são um processo que envolve baixíssimo consumo de energia, além de ser praticamente não poluente. (Gesualdo, 2003)

Segundo Gesualdo (2003) um dos fatores mais importantes refere-se à energia gasta para a produção do material escolhido para a construção. A Tabela 1 mostra uma comparação entre as energias gastas na produção de uma tonelada de madeira, de aço e de concreto, conforme estudo realizado no Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Lisboa (LNEC, 1976).

Tabela 1 Consumo de energia na produção de materiais

<p><b>1 tonelada de madeira consome <math>2,4 \times 10^3</math> kcal de energia</b>  <b>1 tonelada de concreto consome <math>780 \times 10^3</math> kcal de energia</b>  <b>1 tonelada de aço consome <math>3000 \times 10^3</math> kcal de energia</b></p>
--

Fonte: (Gesualdo, 2003, pg2, tab1)

Frente à como podemos aproveitar melhor este material biodegradável, e visivelmente mais sustentável que o aço, será dimensionado uma treliça de madeira roliça de Eucalipto Grandis tratado e outra com aço perfil U laminado, para a cobertura de um pavilhão de tamanho padrão em nossa região, com vão livre de 15 m, espaçadas a cada 5m, visando encontrar um orçamento economicamente viável.

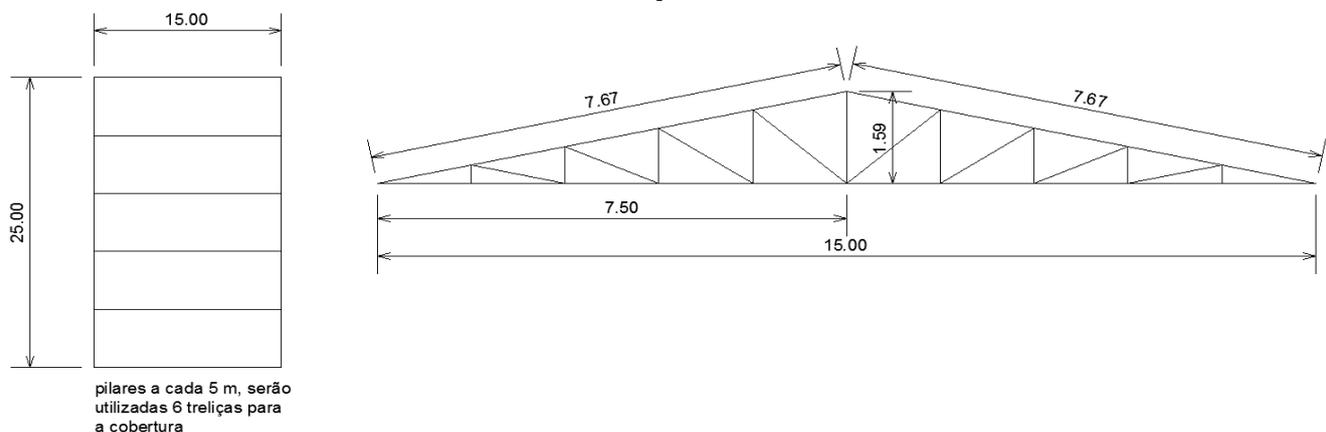
## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Serão dimensionadas duas treliças com cargas variáveis iguais, referenciadas bibliograficamente, influenciando somente o tipo de material a ser utilizado, nesse artigo aço e madeira. Analisando os resultados obtidos, poderemos então comparar custos de fabricação, visando alcançar um orçamento economicamente viável.

### 2.1 CARACTERÍSTICAS DO PAVILHÃO

- O pavilhão tem Dimensões de 15m x 25m (Largura x Comprimento), com área total de 375m<sup>2</sup> (Figura 1).
- O perfil de aço será definido após os cálculos dos esforços obtidos através do software Ftool (Two-Dimensional Frame Analysis Tool) (PUC 2008).
- Será adotado um diâmetro de 15cm para cálculo do peso próprio da estrutura da treliça de madeira.
- A flambagem foi desconsiderada nos dimensionamentos.
- Vão teórico adotado de 15m para melhorar a apresentação dos cálculos.
- Telhado com inclinação de 12°.
- Utilizará telha metálica com carga 0,1kN/m<sup>2</sup>, mais instalações 0,2 kN/m<sup>2</sup>, de acordo com REBELLO (2006)

Figura 1 -Projeção da treliça e do pavilhão para dimensionamento e orçamento



Fonte: Autor



## 2.2 CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAS

### 2.2.1 PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA

A espécie de madeira escolhida foi o Eucalyptus grandis, por se tratar de uma espécie de grande disponibilidade e com características mecânicas boas. Essas características foram retiradas da norma brasileira NBR 7190/97. Esses parâmetros são:

$\gamma_p$  - peso específica =  $640\text{kg/m}^3 = 6,4\text{ kN/m}^3$

$f_{c0}$  - resistência à compressão paralela às fibras =  $40,3\text{ MPa}$

$f_{t0}$  - resistência à tração paralela às fibras =  $70,2\text{ MPa}$

$f_{t90}$  - resistência à tração normal às fibras =  $2,6\text{ MPa}$

$f_v$  - resistência ao cisalhamento =  $7,0\text{ MPa}$

$E_{c0}$  - módulo de elasticidade longitudinal obtido no ensaio de compressão paralela às fibras =  $12813\text{ Mpa}$

### 2.2.2 PROPRIEDADES MECÂNICAS DO AÇO

Suas propriedades mecânicas foram obtidas do item 4.6.10 da norma brasileira NBR 8800/08. Para efeito de cálculo devem ser adotados os seguintes valores, na faixa normal de temperaturas atmosféricas:

$E = 205,000\text{ MPa}$  - módulo de elasticidade

$\nu = 0,3$  - coeficiente de Poisson

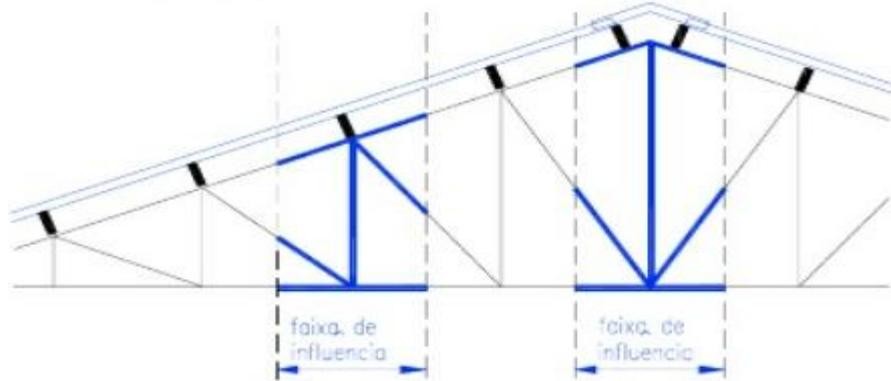
$\beta = 12 \times 10^{-6}\text{ por }^\circ\text{C}$  - coeficiente de dilatação térmica

$\gamma_p = 77\text{ kN/m}^3$  - peso específico

## 3. MEMORIAL DE CÁLCULO E MÉTODOS

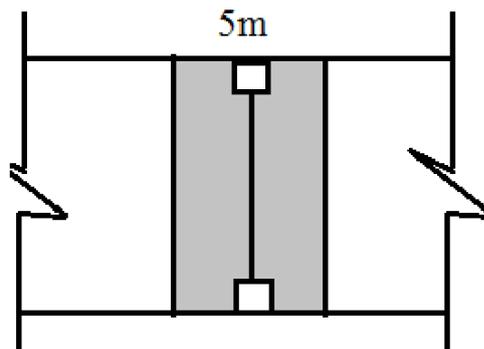
De acordo com Gesualdo (2003) as cargas sobre uma treliça são consideradas como atuantes sobre os nós superiores da estrutura. Usa-se o critério da faixa de influência, conforme ilustrado na figura 2, para obter a carga atuante sobre cada nó. A faixa de influência é tomada como sendo a soma das duas metades das distâncias entre os dois nós vizinhos. Sobre cada um destes nós, atuam todas as cargas provenientes do material existente na faixa de influência (figura 3), cargas permanentes e cargas variáveis.

Figura 2 -Área de influência dos nós da treliça



Fonte: Pfeil 2003

Figura 3 -Área de influência vão entre pilares



Fonte: Pfeil 2003

### 3.1 DETERMINAÇÃO DAS CARGAS PARA A TRELIÇA DE AÇO

Cargas atuantes:

- Carga permanente (g): peso próprio 0,15 kN/m<sup>2</sup>, mais carga da telha metálica 0,1 kN/m<sup>2</sup>, mais instalações 0,2 kN/m<sup>2</sup>, de acordo com REBELLO (2006).
- Carga acidental (q): 0,5 kN/m<sup>2</sup> foi retirada da NBR 6120/1980 (tab. 2).
- Carga de vento dimensionada conforme norma NBR 6123/88.

$$\text{Carga Vento} = 1,17 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 5 = 5,86 \text{ kN/m}$$

$$\text{Carga } g = \left( 0,15 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 0,3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right) \cdot 5 = 2,25 \text{ kN/m}$$

$$\text{Carga } q = \left( 0,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right) \cdot 5 = 2,5 \text{ kN/m}$$



Combinações são possibilidades de situações que possam acontecer no dia a dia da utilização da edificação. A norma NBR 8681/84 requer no mínimo quatro situações, foi adotado em Fd1 peso próprio mais sobrecarga, em Fd2 peso próprio mais sobrecarga mais ação do vento, Fd3 igual a Fd2 mas utilizando outros coeficientes de ações, Fd4 peso próprio mais ação do vento.

Equação 1: Equação de combinações

$$F_d = \Sigma \gamma_g \cdot G + \Sigma \gamma_{qi} \cdot x_i \cdot q + \Sigma \gamma_{qi} \cdot x_i \cdot q \cdot \Psi_0$$

$$F_{d1} = [(1,25 \cdot 2,25) + (1,5 \cdot 2,5)] = 6,56 \text{ kN/m}$$

$$F_{d2} = [(1,25 \cdot 2,25) + (1,5 \cdot 2,5)] + (1,4 \cdot 0,6 \cdot -5,86) \cdot \cos 12] = 1,75 \text{ kN/m}$$

$$F_{d3} = [(1,25 \cdot 2,25) + 1,4 \cdot (-5,86) \cdot \cos 12] + (1,5 \cdot 0,4 \cdot 2,5)] = -3,71 \text{ kN/m}$$

$$F_{d4} = [(1,25 \cdot 2,25) + 1,4 \cdot (-5,86) \cdot \cos 12]] = -5,21 \text{ kN/m}$$

Serão utilizados para cálculo Fd1 e Fd4, pois são as piores situações. Considerar somente a carga permanente majorada com coeficiente obtido da tabela 1.5 e 1.6 (PFEIL 2010), sem a carga de vento, pois causa sucção.

Utilizando a carga Fd1, situação onde não há efeito do vento que ocasiona sucção na cobertura, agindo somente o peso próprio da estrutura e a sobrecarga, será dimensionada uma treliça para esta situação, na qual se encontra no pior estado. Será verificada a ação da combinação Fd4, onde o vento causa sucção, se for menor não haverá necessidade de redimensionar por Fd4, e o perfil será dimensionado por Fd1.

Utilização do conceito da área de influência para a combinação Fd1:

Área de influência dos nós dos apoios:

$$d = \frac{150 \text{ m}}{2} = 0,75 \text{ m}$$

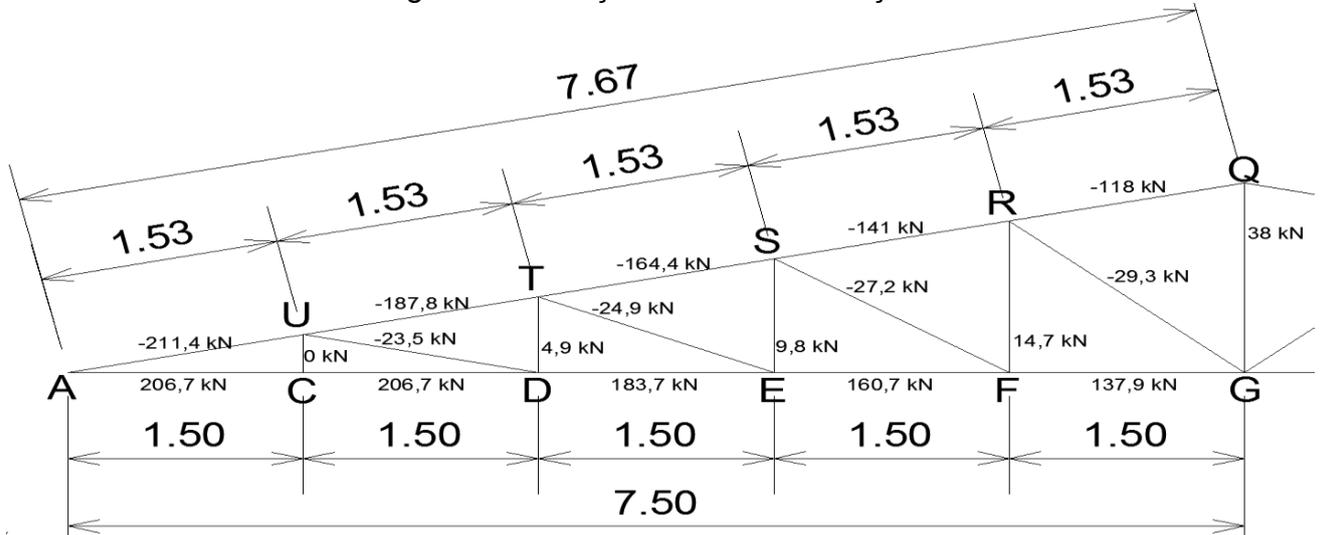
$$Carga = 0,75 \text{ m} \times 6,56 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 4,92 \text{ kN}$$

Área de influência dos nós do vão da treliça:

$$d = \frac{150 \text{ m}}{2} = 0,75 \text{ m} \times 2 = 1,50 \text{ m}$$

$$Carga = 1,50 \text{ m} \times 6,56 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 9,84 \text{ kN}$$

Figura 4 - Esforços com a combinação Fd1



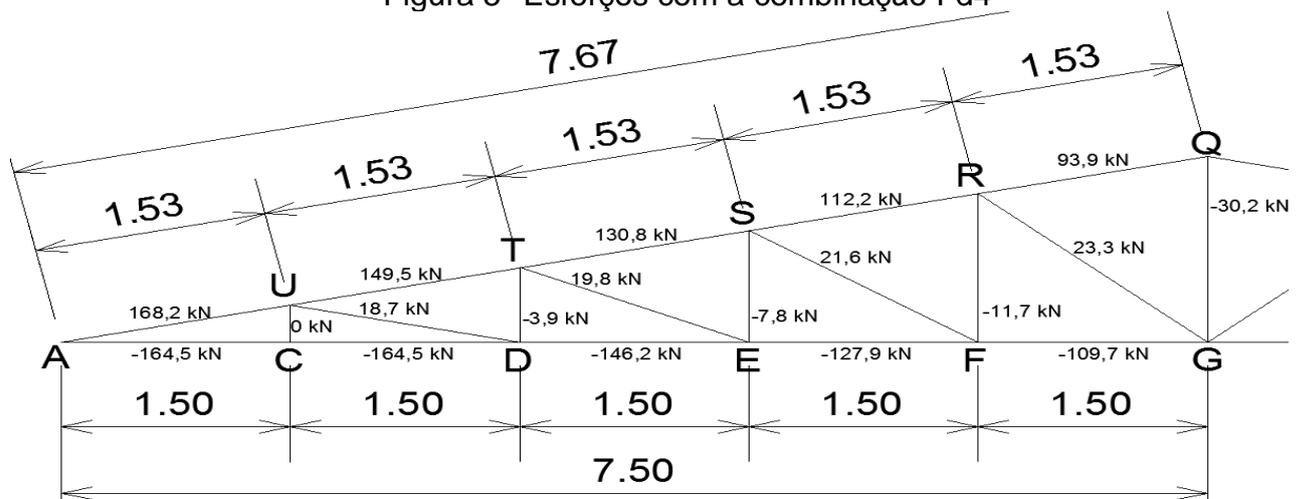
Fonte: Autor

Barra AC maior tração  $T = 206,7 \text{ kN}$   $l = 1,50 \text{ m}$

Barra AU maior compressão  $C = 211,4 \text{ kN}$   $l = 1,53 \text{ m}$

O perfil será dimensionado pelo esforço de compressão por ser o maior, atendendo juntamente ao esforço de tração.

Figura 5 - Esforços com a combinação Fd4



Fonte: Autor

Barra AU maior tração  $T = 168,2 \text{ kN}$   $l = 1,53 \text{ m}$

Barra AC maior compressão  $C = 164,5 \text{ kN}$   $l = 1,50 \text{ m}$

### 3.1.1 DIMENSIONAMENTO DA TRELIÇA DE AÇO PARA FD1

#### 3.1.1.1 DIMENSIONAMENTO DO PERFIL UTILIZANDO O MAIOR ESFORÇO DE TRAÇÃO

$$.Nd = 206,7kN$$

$$\frac{A_{nef} \cdot f_u}{\gamma_a 2} > 206,7 kN$$

$$A_{nef} > \frac{206,7 \cdot 1,35}{40} = 6,97 cm^2$$

Rdt > Nd Perfil adotado para a tração U Laminado 6" 152,4x15,6 kg/m

Ag = 19,90 cm<sup>2</sup> AÇO ASTM MR250

$$Rdt = \frac{19,9 \cdot 25}{1,1} = 452,3 kN$$

452,3 kN > 206,7 kN *atende ao esforço solicitado*

#### 3.1.1.2 DIMENSIONAMENTO DO PERFIL UTILIZANDO O MAIOR ESFORÇO DE COMPRESSÃO

$$Nd = 211,4kN$$

$$Nd \leq Ndr$$

$$\lambda = \frac{l \cdot k}{i_y} = \frac{153,1}{1,34} = 114,2 \leq 200 \text{ OK!!!}$$

$$\lambda_o = 0,0113 \cdot 114,2 = 1,29 \quad x = 0,498 \text{ (Tab A2.1 Norma NBR8800/08)}$$

$$f_c = 0,498 \cdot 25 = 12,45 kN/cm^2$$

$$Nd = \frac{A_g \cdot f_c}{\gamma_a 1} \leftrightarrow A_g = \frac{211,4 \cdot 1,1}{12,45} = 18,68 cm^2$$

$$Nd < Ndr = \frac{A_g \cdot f_c}{\gamma_a 1} \leftrightarrow Nd < \frac{A_g \cdot f_c}{\gamma_a 1} \leftrightarrow 211,4 < \frac{19,9 \cdot 12,45}{1,10} \leftrightarrow 211,4 kN < 225,23 kN$$

*atende ao esforço solicitado*

#### 3.1.1.3 PERFIL ADOTADO

Adotado Aço ASTM MR250 perfil U laminado 6" 152,2x15,6kg/m (Tabela 2) para toda a treliça, pois atenderá os esforços solicitados, dados para orçamento:

- Massa: 15,6 kg/m referente ao perfil
- Material: 52,16 m comprimento total das barras da treliça

$$treliça = 15,6 \frac{kg}{m} \cdot 52,16 m = 813,7 kg$$

### 3.1.2 DIMENSIONAMENTO DA TRELIÇA DE AÇO PARA FD4

Os valores dos esforços de Fd4 são menores que os valores de Fd1, para as mesmas barras, logo o perfil dimensionado para Fd1 suportará os esforços de sucção causados pelo vento.

Tabela 2 Perfis de aço U laminados

Bitola	Peso	ALMA		ABA		area	EIXO X			EIXO Y			x
	Nominal	d	t <sub>w</sub>	b <sub>f</sub>	t <sub>f</sub>		I	W	r	I	W	r	
pol.	kg/m	mm	mm	mm	mm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm
3"	6,10	76,20	4,32	35,81	6,93	7,78	68,90	18,10	2,98	8,20	3,32	1,03	1,11
	7,44		6,55	35,05	6,93	9,48	77,20	20,30	2,85	10,30	3,82	1,04	1,11
4"	8,04	101,60	4,67	40,23	7,52	10,10	159,50	31,40	3,97	13,10	4,61	1,14	1,16
	9,30		6,27	41,83	7,52	11,90	174,40	34,30	3,84	15,50	5,10	1,14	1,15
6"	12,20	152,40	5,08	48,77	8,71	15,50	546,00	71,70	5,94	28,80	8,16	1,36	1,30
	15,60		7,98	51,66	8,71	19,90	632,00	82,90	5,63	36,00	9,24	1,34	1,27
8"	17,10	203,20	5,59	57,40	9,50	21,68	1344,30	132,70	7,87	54,10	12,94	1,42	1,47
	20,50		7,70	59,51	9,50	25,93	1490,00	147,50	7,59	62,40	14,09	1,42	1,42
10"	22,77	254,00	6,10	66,04	11,10	29,00	2800,00	221,00	9,84	95,00	19,00	1,81	1,61
	29,76		9,63	69,57	11,10	37,90	3290,00	259,00	9,31	117,00	21,60	1,76	1,54

Fonte: Catálogos de Barras e Perfis Gerdau

### 3.2 DETERMINAÇÃO DAS CARGAS PARA A TRELIÇA DE MADEIRA

Retiramos da tabela 9, do Livro de Estruturas de Madeira – Walter Pfeil (2003), as propriedades mecânicas do tipo de madeira Eucalyptus Grandis, necessárias para dimensionamento.

Segundo a norma NBR 7190/97, as ações usuais que devem ser consideradas em estruturas de madeira são: Carga permanente, cargas variáveis (Vento e sobrecarga).

Para esse trabalho serão utilizadas as ações de carga permanente e cargas variáveis (vento e sobrecarga), visto que outros tipos ações não se enquadram na situação em estudo.

Carga permanente: De acordo com o item 5.5.2 da NBR 7190/97, na avaliação do peso próprio, admite-se que a madeira esteja na classe 1 de umidade (12%). (Tab. 7 NBR 7190/97)

Peso específico madeira espécie Eucalyptus grandis =  $640 \text{ kg/m}^3 = 6,4 \text{ kN/m}^3$



A treliça possui 52,16 metros de comprimento linear de madeira utilizada, com seção circular (roliça) de diâmetro adotado para cálculo de 15 cm, obtemos:

$$640 \frac{kg}{m^3} \times 52,16m \times 0,01767 m^2 = 589,86 kg = 5,90 kN$$

Distribuindo a carga da treliça por metro pelo vão teórico adotado de 15m, obtemos 0,39kN/m.

Cargas atuantes:

- Carga permanente (g): peso próprio da estrutura da madeira obtido através do peso específico (Pfeil 2003), mais a carga da telha metálica 0,1kN/m<sup>2</sup>, mais instalações 0,2 kN/m<sup>2</sup> de acordo com REBELLO (2006).
- Carga acidental (q): 0,5 kN/m<sup>2</sup> obtida da norma NBR 6120/80 (tab 2).
- Carga de vento dimensionada conforme norma NBR 6123/88.

Multiplica-se pela área de influência, considerando 5 metros de vão entre pilares, as cargas de vento, instalações e telha, a carga permanente neste caso já está distribuída pelo vão da treliça.

$$Carga Vento = 1,17 kN/m^2 \cdot 5m = 5,86 kN/m$$

$$Carga g = 0,39 \frac{kN}{m} + \left(0,3 \frac{kN}{m^2}\right) \cdot 5m = 1,89 kN/m$$

$$Carga q = \left(0,5 \frac{kN}{m^2}\right) \cdot 5m = 2,5 kN/m$$

$$Fd1 = [(1,25 \cdot 1,89) + (1,5 \cdot 2,5)] = 6,11 kN/m$$

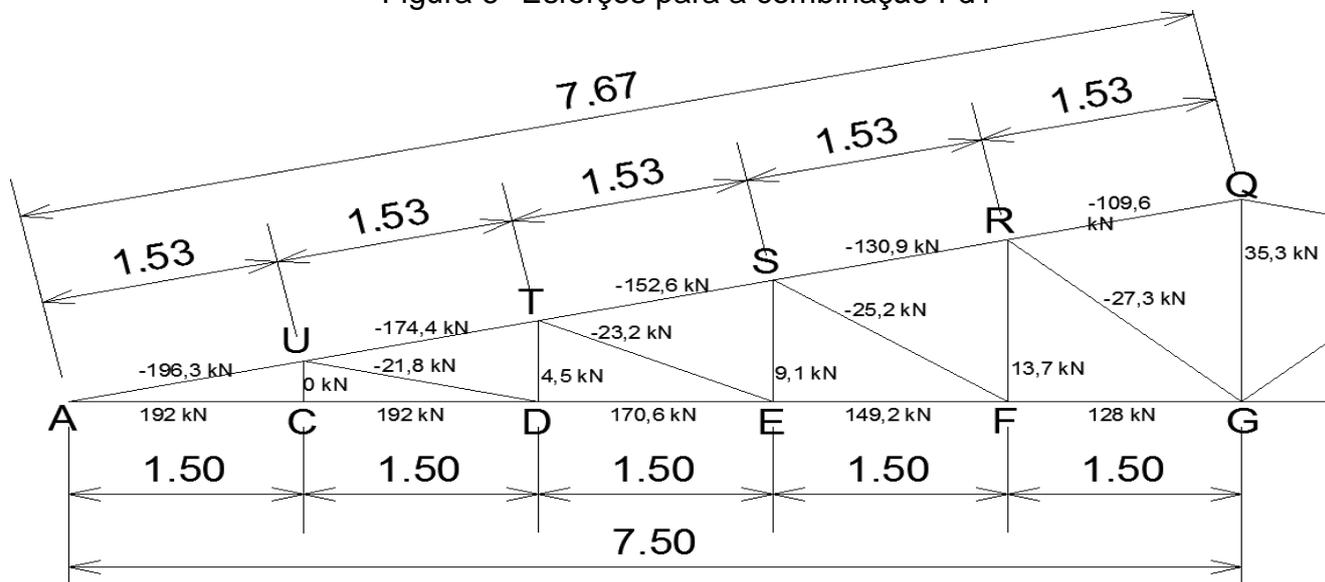
$$Fd2 = [(1,25 \cdot 1,89) + (1,5 \cdot 2,5)] + (1,4 \cdot 0,6 \cdot -5,86) \cdot \cos 12 = 1,30 kN/m$$

$$Fd3 = [(1,25 \cdot 1,89) + 1,4 \cdot (-5,86) \cdot \cos 12] + (1,5 \cdot 0,4 \cdot 2,5) = -0,95 kN/m$$

$$Fd4 = [(1,25 \cdot 1,89) + 1,4 \cdot (-5,86) \cdot \cos 12] = -5,66 kN/m$$

Utiliza-se para dimensionamento  $Fd1 = 6,11 kN/m$  e  $Fd4 = -5,66 kN/m$  pois são as piores situações.

Figura 6 - Esforços para a combinação Fd1

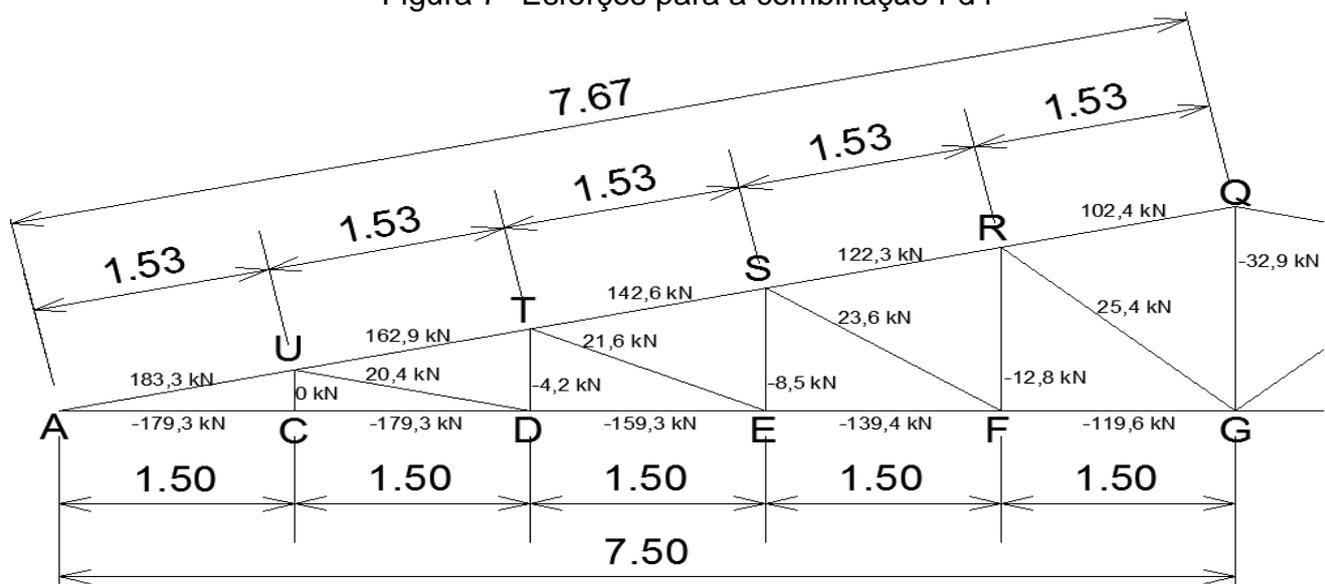


Fonte: Autor

Barra AC maior tração  $T = 192 \text{ kN}$   $l = 1,50 \text{ m}$

Barra AU maior compressão  $C = 196,3 \text{ kN}$   $l = 1,53 \text{ m}$

Figura 7 - Esforços para a combinação Fd4



Fonte: Autor

Barra AU maior tração  $T = 183,3 \text{ kN}$   $l = 1,53 \text{ m}$

Barra AC maior compressão  $C = 179,3 \text{ kN}$   $l = 1,50 \text{ m}$



### 3.2.1 PROPRIEDADES DA MADEIRA PARA CÁLCULO

#### 3.2.1.1 COEFICIENTE DE MODIFICAÇÃO (KMOD)

Equação 2: Coeficiente de modificação

$$K_{mod} = K_{mod,1} \times K_{mod,2} \times K_{mod,3}$$

O coeficiente parcial de modificação  $K_{mod,1}$ , que leva em conta a classe de carregamento e o tipo de material empregado, é dado pela tabela 10 da NBR 7190/97.

$$K_{mod,1} = 0,6$$

O coeficiente  $K_{mod,2}$  leva em consideração a classe de umidade e o tipo de material empregado, é dado pela tabela 11 da NBR 7190/97.

$$K_{mod,2} = 1,0$$

O coeficiente  $K_{mod,3}$  leva em conta se a madeira é de primeira ou de segunda categoria. Para se classificar como primeira categoria todas as peças estruturais devem estar isentas de defeitos.

$$K_{mod,3} = 0,8$$

$$\text{Logo: } K_{mod} = 0,6 \times 1,0 \times 0,8 = 0,48$$

#### 3.2.1.2 COEFICIENTES DE PONDERAÇÃO DA RESISTÊNCIA PARA ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS

O coeficiente de ponderação para estados limites últimos decorrentes de tensões de compressão paralela às fibras tem o valor básico  $\gamma_{wc} = 1,4$

O coeficiente de ponderação para estados limites último decorrentes de tensões de tração paralela às fibras tem o valor básico  $\gamma_{wt} = 1,8$

O coeficiente de ponderação para estados limites último decorrentes de tensões de cisalhamento paralelo às fibras tem o valor básico  $\gamma_{wv} = 1,8$

#### 3.2.1.3 ESTIMATIVA DA RIGIDEZ

De acordo com a NBR 7190/97, nas verificações de segurança que dependem da rigidez da madeira, o módulo de elasticidade paralelamente às fibras deve ser tomado como valor efetivo.

Equação 3: Módulo de elasticidade efetivo

$$E_{C0,ef} = K_{mod,1} \times K_{mod,2} \times K_{mod,3} \times E_{C0,m}$$

$$E_{C0,ef} = 0,6 \times 1,0 \times 0,8 \times 12813 = 4920,192 \text{ MPa} = 492,2 \text{ kN/cm}^2$$



### 3.2.1.4 VALORES DE CÁLCULO

Equação 4: Valor de cálculo da resistência

$$f_{wd} = k_{mod} \frac{f_{wk}}{\gamma_w}$$

$$f_{wd} = 0,48 \cdot \left( 403 \frac{kg}{cm^2} / 1,4 \right) = 138,17 \text{ kgf/cm}^2 = 1,3817 \text{ kN/m}^2$$

Valores de tensão de resistência última para cada esforço:

Compressão:  $\tau_{c0d} = 138,17 \frac{kgf}{cm^2} = 1,3817 \text{ kN/cm}^2$

Tração:  $\tau_{t0d} = 187,20 \frac{kgf}{cm^2} = 1,872 \text{ kN/cm}^2$

Cisalhamento:  $\tau_{v0d} = 18,67 \frac{kgf}{cm^2} = 0,1867 \text{ kN/cm}^2$

### 3.2.2 CÁLCULO DA TENSÃO DE COMPRESSÃO PARA COMBINAÇÃO FD1

- Maior barra comprimida: 196,3 kN
- Comprimento da barra com maior carga: 153 cm
- Seção transversal circular adotada: 15 cm diâmetro
- Área =  $\pi \cdot R^2 = 176,7 \text{ cm}^2$  (onde R=raio)

Para o cálculo da seção circular utilizaremos o método da área quadrada igual a área circular.

Equação 5: Área quadrada igual área circular

$$A_{\blacksquare} = A_o$$

$$a^2 = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \leftrightarrow d = \sqrt{\frac{a^2 \cdot 4}{\pi}}$$

Equação 6: Diâmetro

$$d = \frac{2a}{\sqrt{\pi}}$$

Verificação do índice de esbeltez

Equação 7: Raio de giração

$$i = \sqrt{I/A} = \sqrt{\frac{a^4}{12a^2}} = \frac{a}{\sqrt{12}}$$



Equação 8: Esbeltez atuante

$$\lambda_{at} = \frac{l \cdot k}{i}$$

Aplica-se a equação 7 na equação 8.

Equação 9: Esbeltez

$$\lambda_{at} = \frac{l \cdot k}{i} = \frac{153.1}{\frac{a}{\sqrt{12}}} = \frac{153 \cdot \sqrt{12}}{a} = \frac{530}{a}$$

Conforme norma NBR 7190/97 as verificações de esbeltez:

$$0 < \lambda \leq 40 \text{ peças curtas}$$

$$40 < \lambda \leq \lambda_o \text{ peças intermediárias}$$

$$\lambda_o < \lambda \leq 140 \text{ peças longas}$$

Neste método de cálculo adota-se a pior situação, peça Longa.

Equação 10: Tensão Admissível Longa:

$$\tau_{Longa} = \frac{\pi^2 \cdot E_{mod}}{4 \cdot \lambda^2}$$

Aplica-se a equação 9 na equação 10.

Equação 11: Tensão admissível longa

$$\tau_{Longa} = \frac{\pi^2 \cdot 492 \text{ kN/cm}^2}{4 \cdot \left(\frac{530}{a}\right)^2} = 0,00432 \cdot a^2$$

Equação 12: Verificação das tensões

$$\tau_{at} \leq \tau_{Longa}$$

$$\frac{196,3}{a^2} \leq 0,00432 \cdot a^2$$

$$a \geq \sqrt[4]{196,3/0,00432} \geq 14,6 \text{ cm}$$

$$a > 14,6 \text{ cm}$$

Substitui o resultado da eq(12) na eq(6).

Equação 13: O Diâmetro a um terço do topo

De acordo com a NBR 7190/97.

$$d = \frac{2 \cdot 14,6}{\sqrt{\pi}} = 16,47 \text{ cm} = \text{adota } 16,50 \text{ cm}$$

### 3.2.3 CÁLCULO DE TENSÃO DE TRAÇÃO PARA COMBINAÇÃO FD1

- Maior carga tracionada: 192 kN
- Maior comprimento: 150 cm
- Diâmetro adotado: 15 cm (adotado para os cálculos da compressão)
- A=176,7 cm<sup>2</sup>



$$\tau_{at} = \frac{P}{A} = \frac{192}{176,7} = 1,08 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{at} < \tau_{tod}$$

$$1,08 \text{ kN/cm}^2 < 1,87 \text{ kN/cm}^2 \text{ atende ao esforço solicitado}$$

O diâmetro adotado para cálculo foi de 15 cm, e conforme norma NBR 7190/97 o diâmetro para execução deve ser o dimensionado a um terço do topo, na qual foi obtido 16,47 cm, adotando-se 16,5 cm para toda a treliça.

### 3.2.4 CÁLCULO DA TENSÃO DE COMPRESSÃO E TRAÇÃO PARA COMBINAÇÃO FD4

Os valores dos esforços da combinação Fd4 são menores que os valores de Fd1, para as mesmas barras, logo o diâmetro adotado dimensionado para Fd1 suportará os esforços de sucção causados pelo vento para a combinação Fd4.

## 4. COMPARATIVO DOS MATERIAIS

Tabela 3 Cargas atuantes

Cargas Atuantes					
Aço			Madeira		
Vento:	5,86	kN/m	Vento:	5,86	kN/m
Carga g:	2,25	kN/m	Carga g:	1,92	kN/m
Carga q:	2,5	kN/m	Carga q:	2,5	kN/m

q = carga variável

g = carga permanente

Fonte: Autor

Tabela 4 Cargas e combinações

Cargas e Combinações					
Aço			Madeira		
Fd1=	6,56	kN/m	Fd1=	6,11	kN/m
Fd2=	1,75	kN/m	Fd2=	1,30	kN/m
Fd3=	-3,71	kN/m	Fd3=	-0,95	kN/m
Fd4=	-5,21	kN/m	Fd4=	-5,66	kN/m

Fonte: Autor

Tabela 5 Esforços para as combinações

<b>Maiores Esforços nas Barras para a combinação Fd1</b>					
Aço			Madeira		
Barra	Carga	Comprimento	Barra	Carga	Comprimento
AC	206,7 kN	1,50 m	AC	192,0 kN	1,50 m
AU	-211,4 kN	1,53 m	AU	-196,3 kN	1,53 m

<b>Maiores Esforços nas Barras para a combinação Fd4</b>					
Aço			Madeira		
Barra	Carga	Comprimento	Barra	Carga	Comprimento
AC	-164,5 kN	1,50 m	AC	-179,3 kN	1,50 m
AU	168,2 kN	1,53 m	AU	183,3 kN	1,53 m

Fonte: Autor

Tabela 6 Peso

<b>Peso Final das Trelças</b>			
Aço		Madeira	
Perfil		Perfil	
U Laminado	152,4x15,6kg/m	Madeira Roliça	d= 16,5 cm
Tamanho [m]=	52,16	Tamanho [m]=	52,16
Peso [kg]=	813,7	Peso [kg]=	713,79

Fonte: Autor

Tabela 7 Peso utilizando a área dos perfis

<b>Comparativo de peso dimensionado com peso específico</b>			
Aço		Madeira	
U Laminado	152,2x15,6kg/m	Madeira Roliça	d= 16,5 cm
Área do perfil (m <sup>2</sup> )	0,00199	Área do perfil (m <sup>2</sup> )	0,02138
Peso Específico (kg/m <sup>3</sup> )	7700	Peso Específico (kg/m <sup>3</sup> )	640
Tamanho [m]=	52,16	Tamanho [m]=	52,16
<b>Peso [kg]=</b>	<b>799,2</b>	<b>Peso [kg]=</b>	<b>713,7</b>

Fonte: Autor

## 5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Observamos com as cargas obtidas e com os dimensionamentos realizados que o peso próprio das estruturas é irrelevante, mesmo o aço tendo um peso específico 10 vezes maior que a madeira, a quantidade de material utilizado é equivalente. A grande influência é custo de fabricação de cada material. Os mesmos valores de sobrecarga, carga de vento, carga da telha e instalações, foram utilizados para os dimensionamentos, atendendo as solicitações dos carregamentos, para



poder verificar o que realmente difere-os. Os orçamentos demonstraram a diferença na sua fabricação.

A quantidade de material, em peso, de cada treliça não é levado em consideração, mas analisando os valores das áreas utilizadas para cada perfil, observamos a diferença na qual a madeira, para atingir os mesmos valores de resistência aos esforços solicitados para o aço, teve que utilizar uma seção com área de 213,82 cm<sup>2</sup>, enquanto o aço utilizou apenas 19,90 cm<sup>2</sup>. Isso nos mostra a grande diferença no peso específico de cada material.

Foram feitos dois orçamentos para cada material, em quatro empresas situadas na região carbonífera do sul de Santa Catarina. Verificamos que a madeira, mesmo utilizando uma quantidade de material muito maior, ela continua mais viável economicamente em relação ao aço.

### **5.1 ORÇAMENTOS**

Referentes aos orçamentos obtidos foram recebidos alguns que incluíam partes da cobertura que não serão comparados neste trabalho, como telhas, contraventamento, montagem, e outros.

Fabricantes:

- Fabricante A – VSR Equipamentos Industriais
- Fabricante B – Estrametal Construções LTDA.
- Fabricante C – Ind. e Com. De Madeiras Gonçalves Esquadrias.
- Fabricante D – Luppi Ind. E Com. de Madeiras Ltda

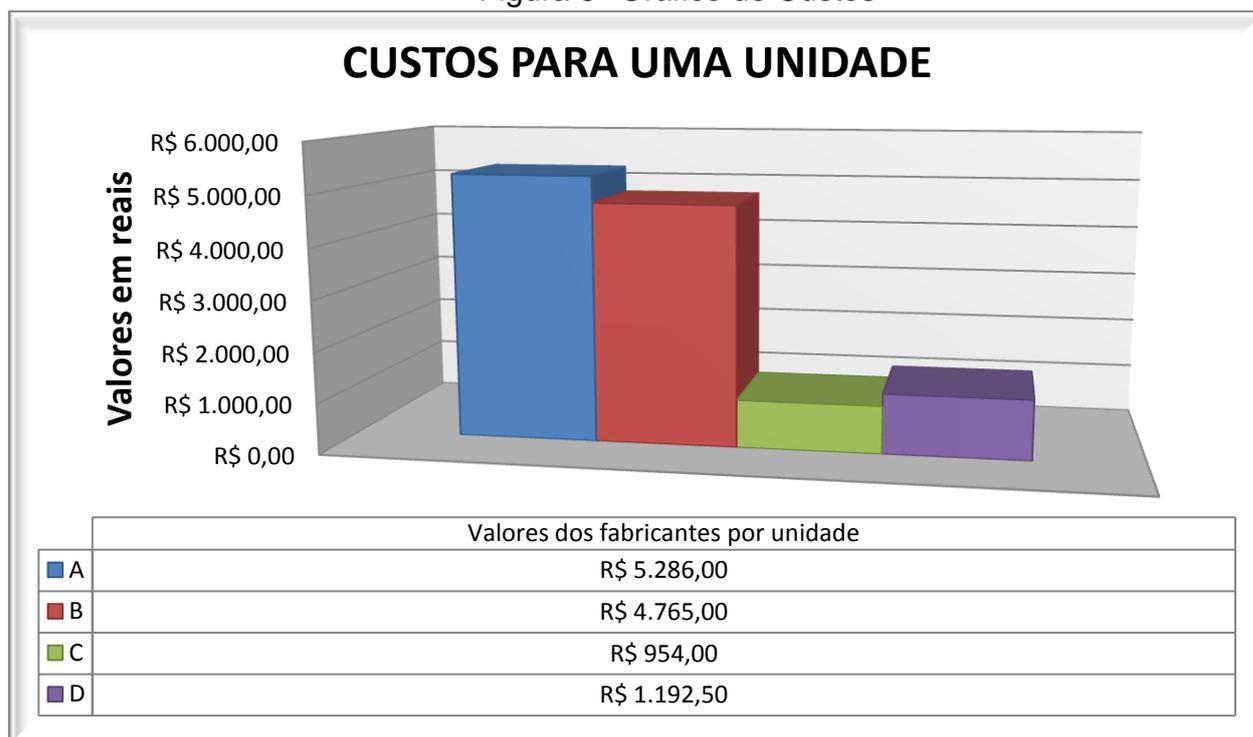
## 5.2 ANÁLISE DOS ORÇAMENTOS

Tabela 8 Comparativo dos custos

Valores dos fabricantes por unidade (6 unidades utilizadas na cobertura)							
Aço				Madeira			
Empresa:	Descrição:	Unitário	Total	Empresa:	Descrição:	Unitário	Total
A	Treliça 15,6kg/m	R\$ 5.286,00	R\$ 31.720,00	C	Treliça 52,16m	R\$ 954,00	R\$ 5.724,00
	Peso (kg)	813,7			Peso (kg)	713,7	
	Preço por kg	R\$ 6,50			Preço por kg	R\$ 1,34	
B	Treliça 15,6kg/m	R\$ 4.765,00	R\$ 28.590,00	D	Treliça 52,16m	R\$ 1.192,50	R\$ 7.155,00
	Peso (kg)	813,7			Peso (kg)	713,7	
	Preço por kg	R\$ 5,86			Preço por kg	R\$ 1,67	

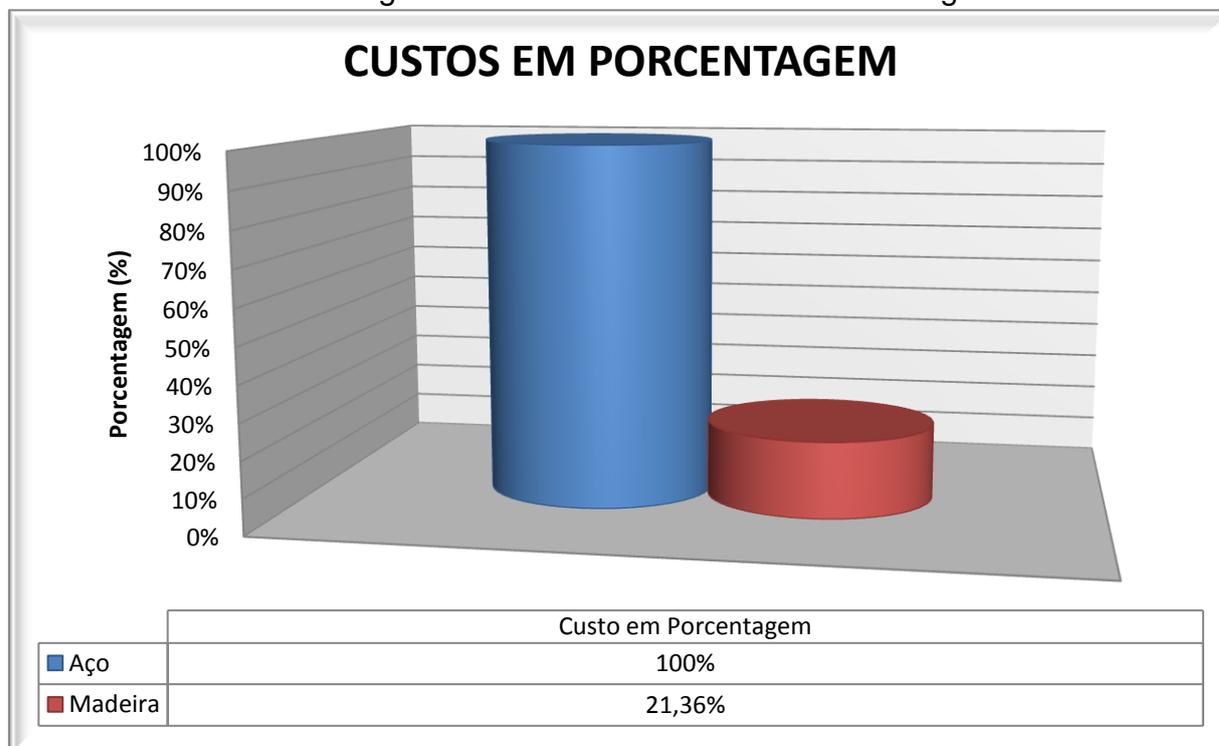
Fonte: Autor

Figura 8 -Gráfico de Custos



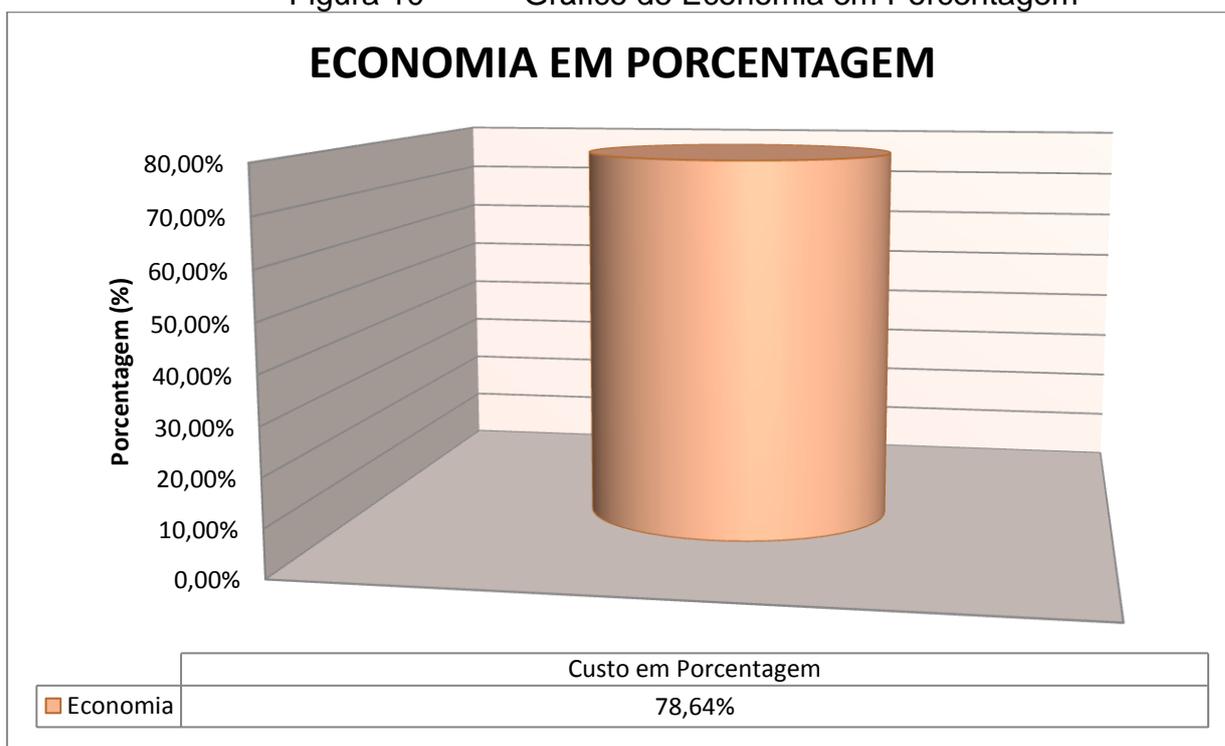
Fonte: Autor

Figura 9 - Gráfico de Custos em Porcentagem



Fonte: Autor

Figura 10 - Gráfico de Economia em Porcentagem



Fonte: Autor



## 6. CONCLUSÃO

Concluimos através dos resultados obtidos que o aço pode ser substituído pela madeira nesse tipo de estrutura, pois atendeu aos mesmos esforços de resistência mecânica solicitados, e tornando a estrutura 80% mais econômica.



## 7. REFERÊNCIAS

- ASSOSIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120 – Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro, 1980
- ASSOSIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123 – Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro, 1988
- ASSOSIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190 – Projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro, 1997
- ASSOSIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro, 2008
- CALIL JR., C.; ROCCO LAHR, F. A.; DIAS, A. A. Dimensionamento de elementos estruturais de madeira. 1 ed. Barueri: Editora Manole Ltda, 2003.
- FTOOL (Two-Dimensional Frame Analysis Tool) Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro – PUC 2008.
- GESUALDO, F.A.R. Estruturas de madeira – **Notas de aula**. Universidade Federal de Uberlândia, 2003. 98p.
- Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Lisboa (LNEC, 1976).
- PFEIL, Walter; PFEIL, Michele. **Estruturas de madeira**. 6. ed. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro: LTC. 2003.
- PFEIL, Walter; PFEIL, Michele. **Estruturas de aço: dimensionamento prático**. 7. ed Rio de Janeiro: LTC, 2010.
- REBELLO, Yopanan Conrado Pereira Livro CURSO DE DIMENSIONAMENTO DE AÇO. (2006).
- SZÜCS, Carlos Alberto.TEREZO, Rodrigo Figueiredo. DO VALLE, Ângela. De Moraes, Poliana Dias. Estruturas de madeira – **Apostila de estruturas de madeira**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2005. 146p.