

QUIOSKE ARACNE: CÁLCULO DE CARGAS DE VENTO EM UMA ESTRUTURA EM BAMBU NÃO CONVENCIONAL

ANTONIO L. BERALDO¹,

DANIEL ALBIERO^{1*},

ANTONIO J. S. MACIEL¹

RESUMO

Este trabalho trata do cálculo estrutural de um quiosque de bambu sob solicitações de vento. As partes estruturais se constituíram em colunas e vigas de bambu *Guadua angustifolia*. Foi adotada a a Norma Brasileira NBR 6123, referente a determinação das cargas de vento em estruturas. Para simplificação do cálculo se considerou as colunas de bambu como constituídas por tubos de diâmetro externo de 12 cm e espessura de 3 cm, as vigas form consideradas como tubos de diâmetro externo de 7.5 cm e espessura de parede de 2 cm. Os elementos estruturais form considerados conectados a cada 25 cm por um elemento de disco massiço para simular o nó do colmo do bambu. A análise foi efetuada por meio de um software comercial. Depois do processamento foram obtidos os gráficos de tensão de von Mises (composição de tensões principais, flexão e torção tridimensionais). Os resultados mostraram que a estrutura denominada Aracne suporta satisfatoriamente as componentes de vento. Como principal resultado tem-se que os colmos de bambu espécie *Guadua angustifolia* reforçados com concreto convencional e barras de aço CA50, suportam os esforços impostos pelo vento, segundo a norma NBR6123.

PALAVRAS-CHAVES: Bambu, Estrutura não Convencional , NBR-6123.

¹ Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, Caixa Postal 6011, Campinas – SP, CEP: 13083-875.

* Autor correspondente: Tel: 055 0xx19 3521 10 54; Fax: 055 0xx19 3521 1064. email: daniel.albiero@agr.unicamp.br

ABSTRACT

This research work report a structural calculus of a bamboo kiosk. Structural components were pillars and beams of a bamboo specie *Guadua angustifolia*. Brazilian standard NBR 6123 – building wind loads evaluation was applied. For simplification, bamboo pillars were considered as pipes with 12 cm in outer diameter and 3 cm wall thickness, the beams was considered as pipes of 7.5 cm outer diameter and 2 cm thickness of wall, these elements were considered as intercalated each 25 cm by means a solid disc element simulating the knot effect. In this approaches a commercial software was employed for structural analyses. After data processing, Von Mises stress graph (principal stress composition, flexure and tri-dimensional torsion) and the maximum bending stress were obtained. The results show that the bamboo Aracne structure satisfactorily supports the wind loads, as mean result the culms of specimen *Guadua angustifolia* reinforced with conventional concrete and steel bars CA50 support the forces applied for the wind, following the standard NBR6123.

KEYWORDS: Bamboo; Structure, NBR-6123.

INTRODUÇÃO

O bambu é uma dos mais importantes materiais de construção dos países em desenvolvimento (www.brasilis.pro.br). Embora este material seja utilizado a muito tempo, ainda não se dispõe de informações na literatura técnica sobre o comportamento dos colmos de bambu quando são empregados em componentes estruturais (ALBIERO *et al.* 2006). BERALDO (1991) relata que o emprego do bambu em construções tem-se realizado de forma empírica, baseada geralmente em sistemas tradicionais estabelecidos nos diferentes países. Na Colômbia estudos do uso de bambu em construções de estruturas espaciais tem sido descritos (CARAVAJAL *et al.* (1981) mencionado por LOPEZ (2003)). Um quiosque em formato parabolóide hiperbólico foi construído em 1999 no Jardim Botânico de Bogotá, denominado quiosque aracne (LOPEZ, 2003). A estrutura de um quiosque aracne se caracteriza por uma estrutura formada por quatro pilares dispostos em ângulos divergentes em relação a cobertura que esta forma com 4 esteiras de bambu em formato parabolóide. Sobre esta esteira existe um cobertura de palha.

MOREIRA & GHAVAMI (1997) descrevem um extenso trabalho a cerca das principais etapas para efetuar uma análise racional das estruturas de bambú, adotando como referência a norma brasileira NBR 7190, proposta para estruturas de madeira. No entanto os autores não consideraram as solicitações devidas as cargas de vento, sendo portanto o objetivo deste trabalho aplicar a norma 6123/1988: forças devido ao vento me edificações, a uma estrutura não convencional construída de colmos de bambu.

Na engenharia estrutural se considera o vento como uma superposição de turbilhões de diferentes dimensões que alcançam as estruturas o que gera solicitações. Em geral a velocidade dos ventos variam de 30 km/h até cerca de 500 km/h (tornados) (BLESSMANN, 1995).

A norma NBR 6123 descreve os procedimentos de cálculo referente a determinação da velocidade característidca do vento e as solicitações produzidas por sucção e compressão. De acordo com os autores MEEK (1971) e SEGERLIND (1984) o método

de elementos finitos é um procedimento numérico utilizado para a obtenção de soluções para problemas de engenharia que utilizam elementos discretos para obter deslocamentos das uniões e das forças atuantes na estrutura. Esta formulação é denominada análise matricial das estruturas.

MATERIAL E MÉTODOS

Na estrutura foram utilizadas colunas e vigas de bambu da espécie *Guadua angustifolia*. As colunas foram consideradas com diâmetro externo de 12 cm e espessura de 3 cm, as vigas com diâmetro externo de 7,5 cm e espessura de 2 cm. Na estrutura de apoio se empregou concreto convencional, contendo barras de aço de $\frac{1}{2}$ " de diâmetro, com comprimento de 1,5 m, sendo embutidas nos entrensos perfurados a cada 0,7 m. fig. 1 e 2. Por meio de uma abertura lateral do colmo se introduziu cimento e areia (fig. 5), sendo adotado este procedimento em todas as montagens. A

Neste trabalho foram determinadas a resistência do vento de uma estrutura tipo quiosque aracne construída em bambú, considerando as forças de vento aplicadas na estrutura. O objetivo deste trabalho é avaliar o material bambu nestas condições.

estrutura se localiza sobre um talude de cerca de 2 m de altura com 45° de declividade (fig. 3). Buscando aliviar o peso próprio da estrutura a cobertura foi feita com sapé (*Anetherum bicorné*), presas as esteiras triangulares de bambu, fibra de vidro foi empregada para aumentar a rigidez da montagem dos membros de bambu (fig. 4). As ligações entre os nós foram reforçadas com fibra de vidro (fig. 5). Nas montagens secundárias se adotou o mesmo procedimento descrito para as colunas com a diferença que foram adotadas barras de aço de $\frac{1}{4}$ " de diâmetro.



Figura 1. Montagem da estrutura.

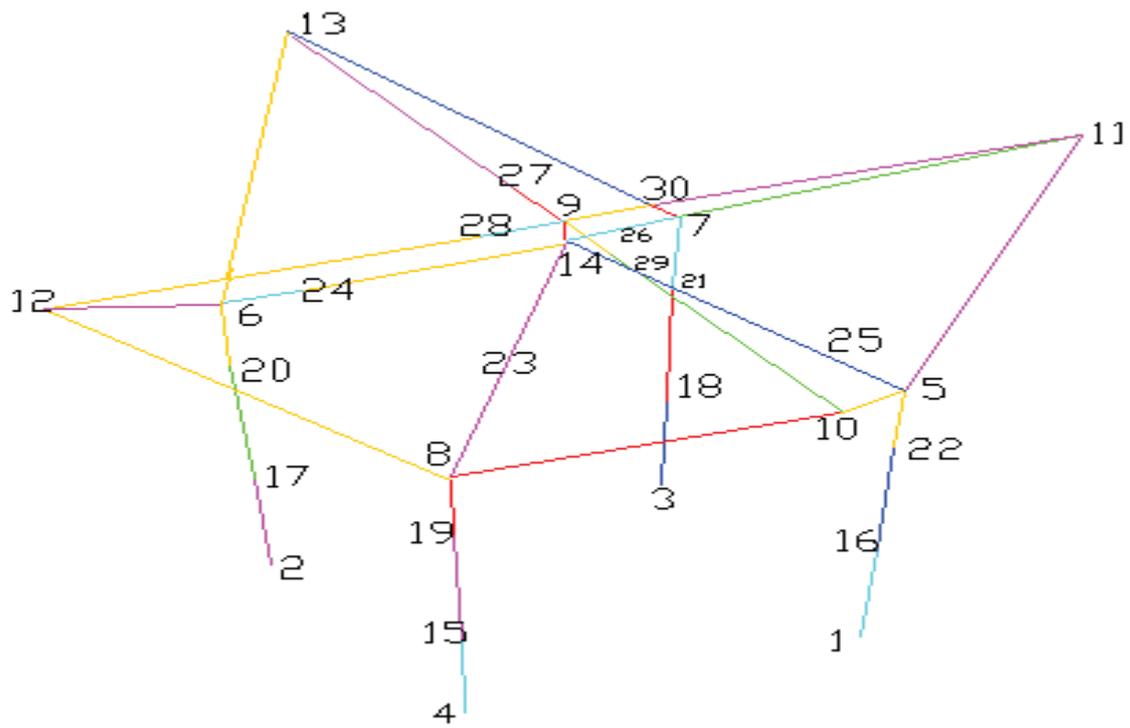


Figura 2. Montagem da estrutura (nós).

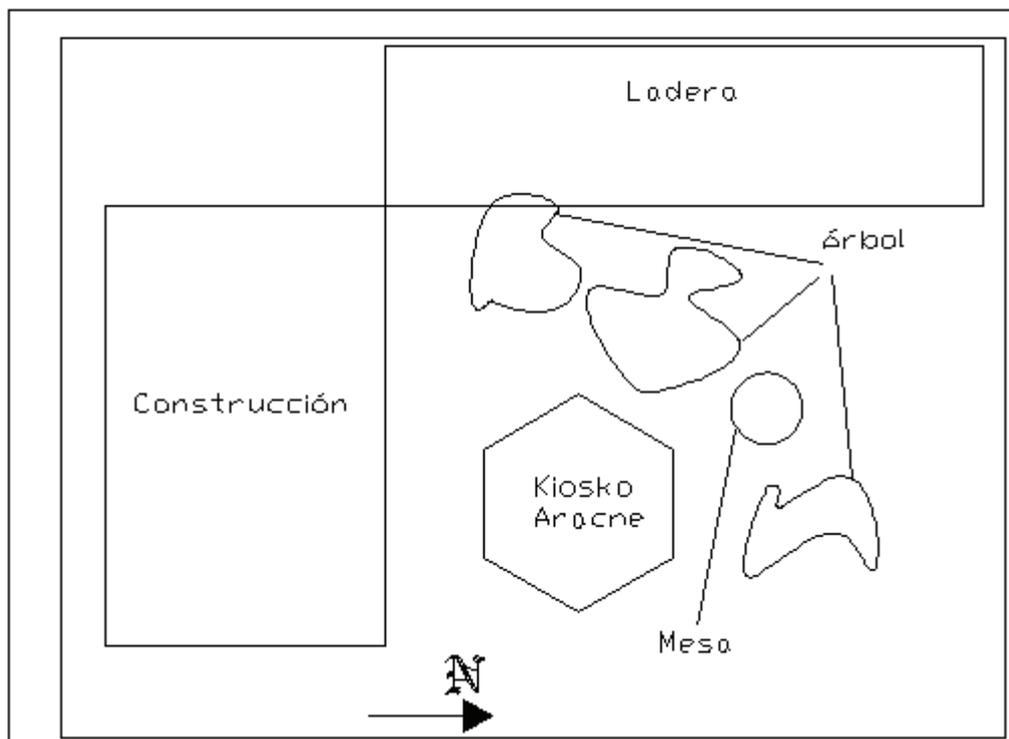


Figura 3- Localização do quiosque.



Figura 4. Cobertura de palha do quiosque aracne.



(a)



(b)

Figura 5. (a) Preenchimento dos colmos com concreto; (b) Detalhe do reforço de fibra de vidro das ligações.

No desenvolvimento do cálculo estrutura foram adotados os seguintes valores, obtidos de BERALDO (1991):

Bambú EX = 14 GPa (Tração); EY = 10,5 GPa (Flexão); EZ = 10,5 GPa (Flexão);

Barras de aço: EX = 200 GPa (Tração); EY = 200 GPa (Flexão); EZ = 200 GPa (Flexão).

Foram considerados os seguintes limites de resistência:

Bambú: Tração = 344 MPa; Flexão sf = 276 MPa;

Aço: Tração st = 490 MPa (aço CA 50); Flexão sf = 490 MPa (aço CA 50).

O principal esforço atuante na estrutura se deve a carga do vento, pois as cargas das esteiras de bambu e da cobertura de palha podem ser desprezadas devido ao seu pouco peso. Para condições de chuva se considera que a cobertura não absorva mais do que 1000 N de água, o que torna este peso desprezível em comparação com a carga de compressão atuante na estrutura. Os esforços de tração que a estrutura poderia sofrer são muito mais importantes, devido a ação dos ventos de

grande intensidade que ocorrem na região de Campinas-SP-Brasil. A carga estrutural própria, distribuída na estrutura foi avaliada ao redor de 5000 N (vigas, colunas, preenchimento de areia e cimento, barras de aço, esteira de bambu e cobertura de palha).

De acordo com a norma NBR 6123, relativa a determinação de cargas de vento em estruturas, a força atuantes nos nós de uma estrutura é determinada pela seguinte fórmula:

$$CV = 0.613 \cdot V_k^2 \cdot c_p \cdot A_f \quad (1)$$

onde:

CV = carga do vento, kgf.

V_k = velocidade característica do vento, m/s;

c_p = coeficiente de pressão;

A_f = área frontal, m².

Sendo:

$$V_k = V_a \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \quad (2)$$

donde: V_a = velocidade do vento básica (tabela btida por região), m/s;

S_1 = fator topográfico; S_2 = fator de rugosidade; S_3 = fator estatístico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a norma e a carta presente na norma a velocidade básica para a cidade de Campinas é $V_a = 45 \text{ m/s}$ à 162 km/h .

O fator topográfico para o talude, de acordo com a fórmula determinada para inclinações maiores do que 17° :

$$S1 = 1 + (2.5 - z/d) * 0.31 \quad (3)$$

onde: z = altura da construção, m;

d = desnível do talude, m.

Portanto para $z = 5 \text{ m}$, e desnível de 2 m se obtém que $S1 = 1.0$.

Fator de rugosidade considerando que a construção pertence a categoria 4, e classe 1 então:

$$S2 = 0.79$$

De acordo com o fator estatístico se obtém:

$$S3 = 0.95.$$

Então:

$$V_k = 45 * 1.0 * 0.79 * 0.95 = \mathbf{34 \text{ m/s}}.$$

Considerando que a estrutura é simétrica, e é orientada no sentido leste-oeste, as direções de ataque do vento tem a mesma reação na estrutura, assim considerando ventos de 0° e 90° , em relação a estrutura se obtém pela norma: $C_p = -1.3$ (sucção).

A área frontal de cada parte da cobertura é $A_f = 5 \text{ m}^2$. Pela fig. 7b se pode observar que o desenho arquitetônico gerou uma área excedente frontal ao ataque do vento, esta área é equivalente a $\frac{1}{2}$ da área das coberturas, $A_f = 5 \text{ m}^2$. Assim a área total de ataque do vento é de $A_{ft} = 10 \text{ m}^2$. Aplicando a equação (1):

As forças aplicadas a estrutura são essencialmente de sucção, ou seja, em sentido de tirar a estrutura de seus suportes, pois os suportes de concreto são representados por engastamentos sem nenhuma liberdade. Desta maneira os principais esforços são de tração e flexão nos elementos estruturais. Esta solicitação foi dividida nas quatro esteiras completas, os pontos de aplicação destas forças foram consideradas como se fossem atuantes no baricentro das mesmas. Para efeito de cálculo cada uma das forças foi dividida em cada um dos três nós da esteira triangular, como mostra a fig. 7b. Fazendo a divisão das forças

$$C_v = 0.613 * 34^2 * 1.3 * 10 = \mathbf{9212 \text{ kgf (92120 N)}}$$

em cada nó, como indicado na fig. 6, e considerando que cada esteira está inclinada 40°, como mostra a fig. 7a, os valores obtidos são apresentados na tabela 1. As colunas foram consideradas como se fossem cilindros com características do bambu e do concreto, apresentando uma altura entre-nós de 70 cm, e um diâmetro de 12 cm; as vigas com altura entre-nós de 50 cm e diâmetro de 7.5 cm (fig. 6). As extremidades das colunas e das vigas foram preenchidas com concreto, até a altura de 70 cm e 50 cm, respectivamente. Para a aplicação do software ANSYS 5.2 ED, os elementos foram considerados similares ao PIPE 16 para os colmos, para os discos massivos entre-nós foi considerado o elemento PIPE 16 com uma espessura de parede de 99,9% do raio do colmo, que é uma aproximação viável para o cálculo realizado pelo ANSYS. Os elementos estruturais foram divididos na categorias colunas e vigas.

Depois do processamento dos dados pelo software ANSYS 5.2, foram obtidos os gráficos de Tensão de von Mises (composição das tensões principais, flexão e torção tridimensionais), e a tensão máxima à flexão, apresentados nas fig. 8 e fig. 9, respectivamente. Na fig. 8 se apresenta a localização e a máxima tensão de von Mises, onde os valores positivos significam tração e os negativos compressão. Considerando a máxima sollicitação dos elementos estruturais como de 109,5 MPa em tração, se pode concluir que a estrutura suporta tal sollicitação, pois o bambu a tração tem resistência a tração de 126,5 MPa (BERALDO, 1991), no entanto LOPEZ (2003) afirma que o bambu pode suportar sollicitações a tração de até 450 MPa.

A fig. 9 apresenta a localização e os valores das tensões máximas de flexão, sendo obtido o valor de 310,9 MPa, valor este que supera a tensão admissível à flexão do bambu que é de 276,3 MPa. Para resolver este problema nos pontos onde ocorrem esta sollicitação existe um reforço interno de barras de aço e concreto. Nesta regiões as barras de aço CA 50 de 1/2" de diâmetro nas colunas e de 1/4" de diâmetro nas vigas (duas barras em cada uma), em cada área crítica as barras de aço perfazem 1,26 cm² para cada elemento

estrutural, considerando o limite de 500 MPa do aço CA50, se obtém uma carga suportável de 63000 N (fig. 10). O esforço máximo à flexão é de 31840 N, portanto o concreto armado com aço suporta a sollicitação e a estrutura é tecnicamente viável.

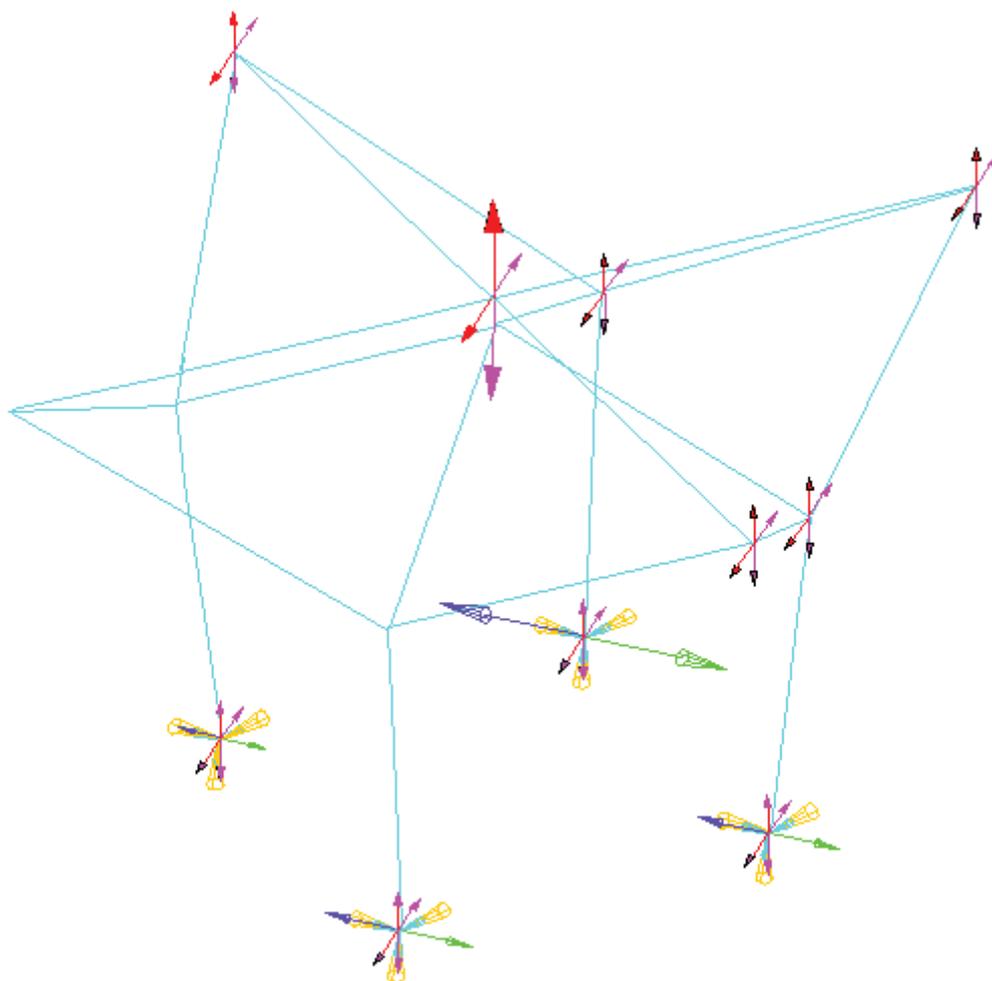
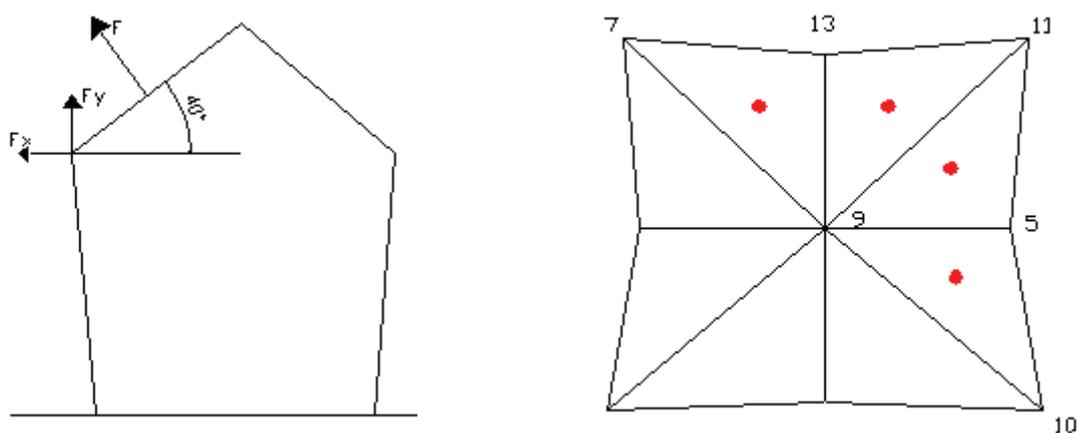


Figura 6- Sistema de forças: forças de reação (U, restrição de deslocamento; Rot, restrição C RMom, momento de reação).



(a) localização das forças em relação as esteiras de bambu.

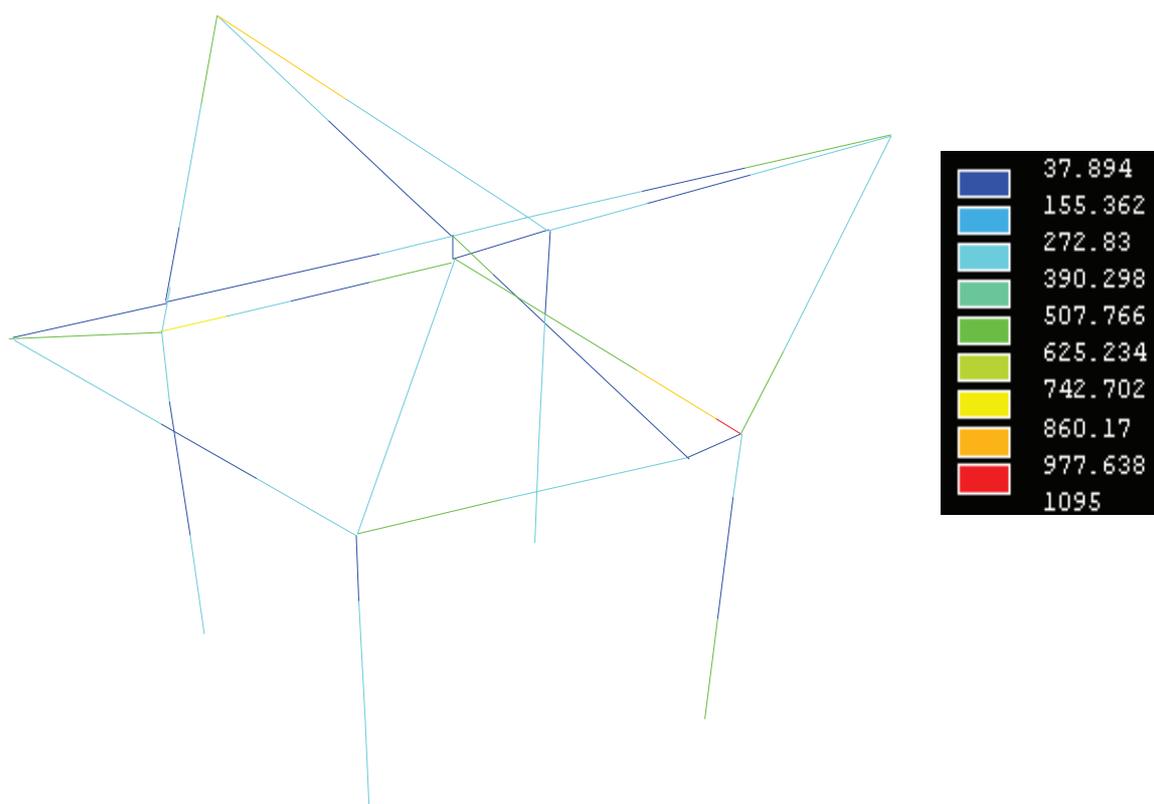
(b) Baricentros das coberturas, os pontos vermelhos indicam os pontos de aplicação da força resultante. Os números indicam os nós onde os componentes das forças são distribuídas.

Figura 7- (a) Localização das solicitações; (b) Condições de contorna da estrutura.

Tabela 1- Disposição e valores das forças.

Nó de aplicação da força	Componente da força	Valor (N)
5	FY	9910
5	FZ	11750
7	FY	9910
7	FZ	11750
9	FY	24800
9	FZ	29380
10	FY	4950
10	FZ	5860
11	FY	4950
11	FZ	5860
13	FY	4950
13	FZ	5860

Obs: $F_x = F \cdot \cos(40)$; $F_y = F \cdot \sin(40)$

**Figura 8-** Tensão de Von Mises na estrutura, vista isométrica, valores em 10^{-1} Mpa.

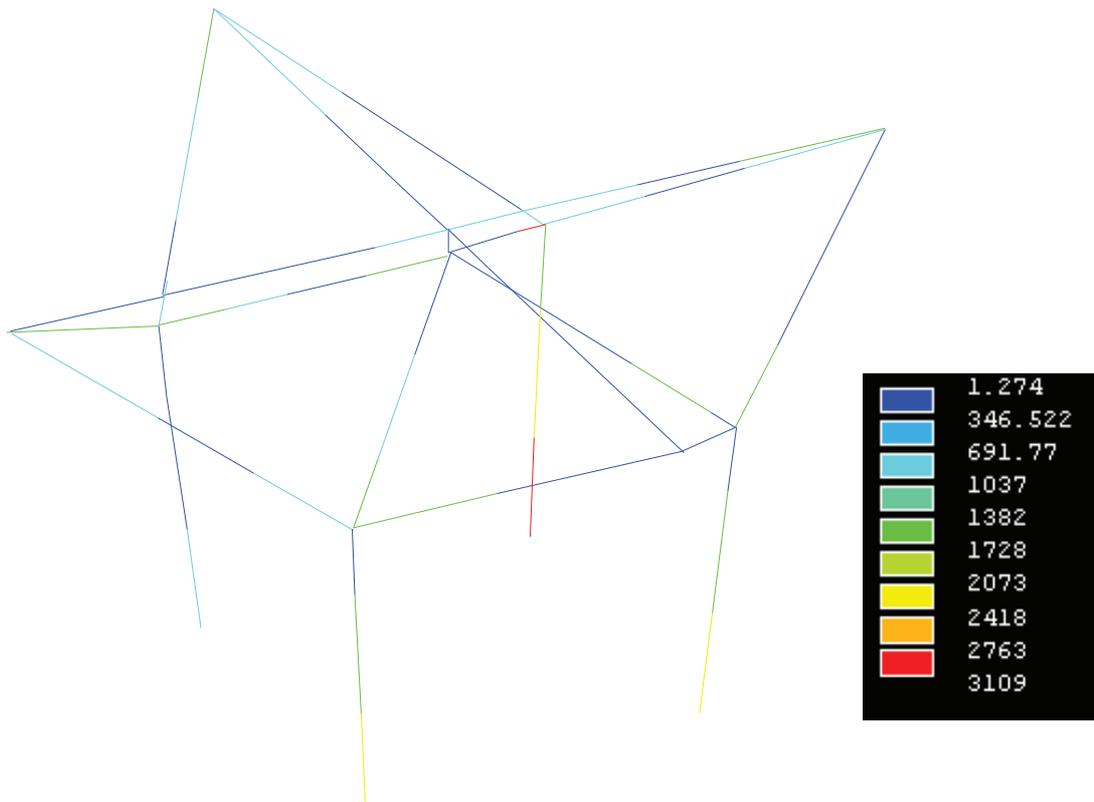


Figura 9- Tensão de flexão, vista isométrica, valores em 10^{-1} Mpa

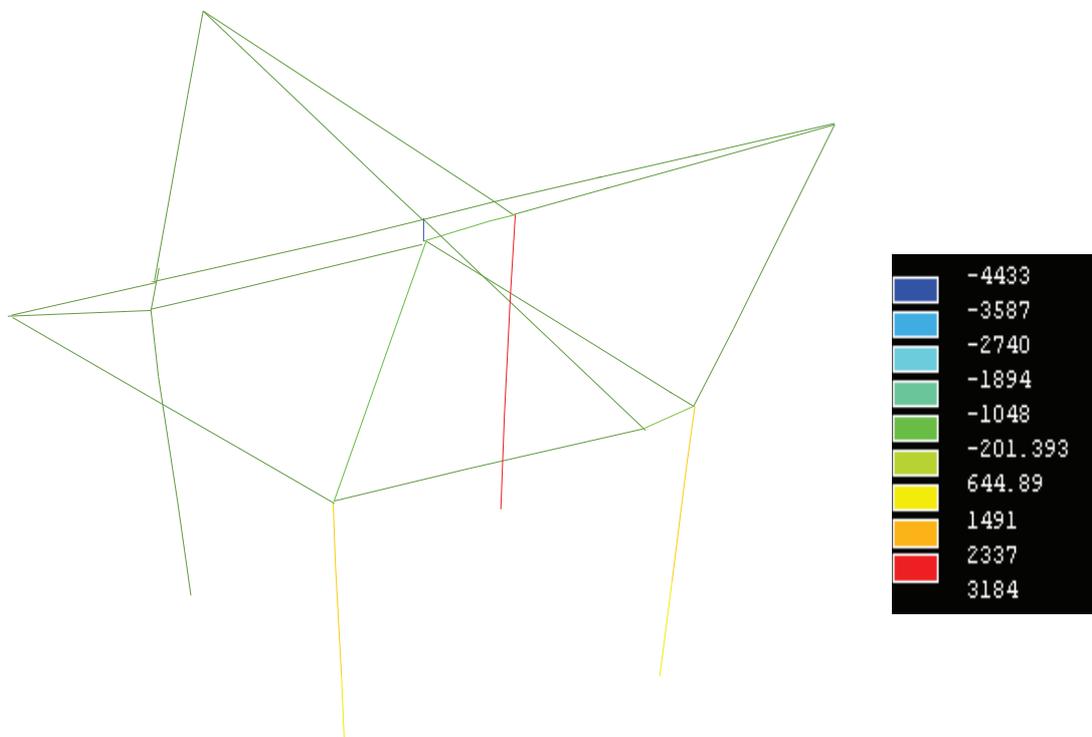


Figura 10- Carga máxima à flexão, valores em 10^{-1} Mpa.

CONCLUSÕES

Embasado nos resultados obtidos pode-se afirmar que a estrutura quiosque aracne suporta a solicitação aplicada por cargas de vento, considerando-se as contribuições de resistência a tração fornecidas pelas barras de aço e pelo

preechimento dos colmos de bambu com concreto. A metodologia de cálculo prescrita pela norma NBR 6123 foi de simples aplicação, privilegiando a segurança devido aos fatores de segurança adotados.

REFERÊNCIAS

- (1) Associação Brasileira de Normas Técnicas (1988). *NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações*. Rio de Janeiro.
- (2) Albiero, D; Beraldo, A. L.; Maciel, A. J. S. (2006). Aracne: projeto e execução de uma estrutura de colmos de bambu. In: X Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeiras, 10, São Pedro, 2006. **Anais**. São Pedro: IBRAMEM, 2006. p. 113-123.
- (3) Beraldo, A. L.; Naas, I. A.; Freire, W. J. (1991). *Construções Rurais: Materiais*. Rio de Janeiro: Editora LTC.
- (4) Beraldo, A. L. (2006). *O bambu*. [http://:www.brasilis.pro.br](http://www.brasilis.pro.br) (10/01).
- (5) Blessmann, J. (1995). *O vento na engenharia estrutural*. Porto Alegre, Editora da UFRGS.
- (6) Lopez, O. H. (2003). *Bamboo The gift of the Gods*. Bogota: D'IVINNNI Ltda.
- (7) Meek, J. L. (1971). *Matrix structural analysis*. 1º Ed. New York, McGraw- Hill Inc.
- (8) Moreira, L. E.; Ghavami, K. (1997). *Dimensionamento de estruturas de bambu*. In *Materiais não convencionais para construções rurais*. Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 26. SBEA, 1997.
- (9) Segerlind, L. J. (1984). *Applied finite element analysis*. 2º Ed. New York, John Wiley and Sons, 456p.