

# DESENVOLVIMENTO DE UMA LIGAÇÃO ESTRUTURAL PARA CONSTRUÇÃO COM BAMBU GUADUA

Carlos Andrés Sánchez Quintero, Me. (UFSC);

Wilson Jesus da Cunha Silveira, Dr. (UFSC).

## PALAVRAS CHAVE

*Arquitetura; Bambu Guadua; Bioconstrução*

## KEY WORDS

*Architecture; Guadua bamboo; Bioconstruction*

## RESUMO

O bambu é um material de construção com uma capacidade insuperável de renovação e propriedades mecânicas importantes para o projeto de estruturas. O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma ligação estrutural para construção com bambu Guadua, com parâmetros de baixo custo, pré-montagem, industrialização de peças e versatilidade formal. Foram desenvolvidas as peças que compõem a ligação e feita uma análise das possibilidades arquitetônicas que fornece. Depois, foram feitos na Universidade Nacional da Colômbia, ensaios de compressão e tração em oito corpos de prova de bambu Guadua com o sistema de ligação desenvolvido. Os ensaios de resistência foram realizados para duas tipologias de terminal e em duas configurações: linear e dois elementos em cruz. A ligação atingiu valores de resistência à tração acima dos 32 kN e à compressão acima de 19kN. Esses valores representam 204,5% e 121,2% respectivamente, quando comparado com os valores de tensões admissíveis fornecidos pela norma colombiana NSR-10, para estruturas de Guadua.

## ABSTRACT

*Bamboo is a renewable building material with an outstanding yield rate, which also has excellent mechanic properties for being used on structures. The aim of the research was to develop a structural construction joint using Bamboo-Guadua, while taking into account parameters of low cost, pre-assembly possibilities, easy implementation and formal versatility. First, the joint elements were designed and produced; also a design analysis was made to determine the architectural possibilities of the element. Secondly, series of tensile and compressive tests on eight sample bodies constructed with Guadua and the designed joint were conducted, at the Universidad Nacional de Colombia's structures laboratory. The strength tests were applied on two joints with different sizes arranged in two configurations: linear and crossed. The results indicated that the joint reached tensile strength values over 32 kN and for the compressive tests the results came above 19 kN. Those values represent 204,5% and 121,2% compared to the admissible strength and compressive values for Bamboo Guadua structures respectively, as defined in the Colombian NSR-10 regulation.*

## 8. INTRODUÇÃO

A construção é um dos setores que maior contribuição tem nas matrizes de demandas energéticas, contaminação e desperdícios no mundo (REN21, 2015). O desenvolvimento de sistemas construtivos com materiais não convencionais, de baixo custo, com qualidade e simples execução favorecem o desenvolvimento das comunidades, tanto nas zonas urbanas quanto nas rurais. No entanto, as opções existentes deste tipo de sistemas construtivos a maioria dos casos supõem processos extremamente artesanais, de baixa segurança ou pouca estabilidade estrutural. Isso, diminui as possibilidades de aproveitamento e forte difusão do sistema, visto que são exigidos tempos de construção elevados e, muitas vezes, mão de obra especializada, o que se traduz em custos que podem até superar os gastos de um projeto edificado com um sistema construtivo tradicional de alvenaria.

A construção com bambu se apresenta como uma alternativa sustentável, econômica e estruturalmente viável para a construção de estruturas. O uso sustentável dos recursos abrange o fato de que os materiais a serem utilizados em determinada zona devem estar disponíveis, a partir de uma perspectiva geográfica, cultural e econômica. Assim, para a maioria das regiões da América Latina o bambu pressupõe um material de construção com grande potencial, próprio da região, econômico e ecológico. O bambu Guadua é um recurso natural de rápida renovação, pois seu crescimento acontece muito rápido. Além do mais, é uma espécie natural que se adapta a uma ampla variedade de contextos climáticos, tornando-o um recurso de fácil obtenção. Uma vez que o material é cortado, não precisa tratamentos muito complexos para sua utilização industrializada e os mecanismos para sua imunização são diversos. Do ponto de vista construtivo, a Guadua apresenta desempenho estrutural bastante elevado (GHAVAMI; MARINHO, 2005) dando a possibilidade de erigir edificações de até cinco andares.

Porém, o bambu ainda é visto como uma opção pouco prática para as edificações, pois as técnicas existentes raramente permitem a construção de formas complexas, mantendo um nível baixo de investimento. O problema é agravado pelos elementos de ligação existentes para construção com Guadua, que podem ser de dois tipos:

- Aqueles que utilizam elementos comerciais como amarrações, parafusos ou barras rosqueadas e, em geral, tem baixo custo.
- Os outros tipos de ligações são aqueles com peças especialmente produzidas para os elementos de Bambu, que permitem desenvolvimentos formais complexos.

No entanto, essas últimas têm custos elevados, processos complexos de fabricação e montagem. Porém, o desenvolvimento tridimensional de estruturas ultramodernas abrem muitas perspectivas para a construção com Bambu (STAMM, 2008). É fundamental, então, centrar os esforços técnicos para resolver esta brecha existente, para incentivar o uso do sistema em qualquer tipo de estrutura ou projeto sem que a forma ou a resistência estrutural sejam afetadas. Assim, o presente trabalho foca no método e desenvolvimento de uma ligação estrutural de alta possibilidade de industrialização para construção com Bambu Guadua que possibilite a construção de estruturas complexas.

## 2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O trabalho foi dividido numa primeira fase de design e desenvolvimento da ligação e uma segunda fase de análise estrutural da mesma. Assim, na primeira etapa foram definidas inicialmente as características que os elementos de ligação deviam atingir. Depois, foram definidos formal e funcionalmente os elementos que compõem a ligação e suas possibilidades de conformação de estruturas e elementos arquitetônicos. Na segunda fase, foram feitos ensaios de resistência estrutural da ligação no laboratório e a análise de seu desempenho.

### 2.1. Definição dos parâmetros

A ligação e os elementos que a compõem, deviam garantir, além do seu desempenho estrutural, atender outros parâmetros como sua eficiência econômica, valor estético, versatilidade, entre outros aspectos. Portanto, baseado nos processos de design de produtos, foram definidas expectativas e exigências que a ligação devia garantir, determinando parâmetros quanto à produção dos elementos que compõem a ligação, sua execução na obra, seu desempenho funcional e estrutural visando evitar patologias e possibilitar configurações formais não tradicionais. (Tabela 01)

Tabela 01: Especificações de design do produto para a ligação

Parâmetro	Expectativa e exigências
Desempenho	Que seja versátil, permitindo a montagem em diversos ângulos e se adaptando a elementos não estruturais
	Que possibilite agilidade na construção (peças pré-fabricadas, exigir só habilidades básicas na montagem e manutenção, peças leves)
	Que seja um elemento de longa duração
Segurança	Que garanta estabilidade da estrutura (atender as tensões admissíveis definidas nas normas para elementos estruturais com bambu Guadua, não deve restringir a elasticidade do bambu)
	Que seja segura em caso de incêndio (material resistente ao fogo, deve se poder proteger do fogo)
Manutenção	Que precise pouca manutenção (capacidade de ter acabamentos anticorrosivos ou similares, vida útil tanto ou mais do que os elementos de bambu, facilidade na substituição de peças)
	Que a manutenção seja de maneira ágil (manutenção exige só habilidades básicas, permitir a manutenção dos elementos de bambu)
Custo	Que seja competitivo em relação a outras ligações (fabricação industrial das peças, material amplamente disponível e econômico, integrar peças comerciais já existentes, o tamanho e peso da ligação deve favorecer seu transporte e comercialização)
	Que reduza custos extras de manutenção (redução de patologias da estrutura, permitir a substituição de peças durante a vida útil da estrutura)
Composição Estética	Que a ligação seja esteticamente adequada (ter uma proporção

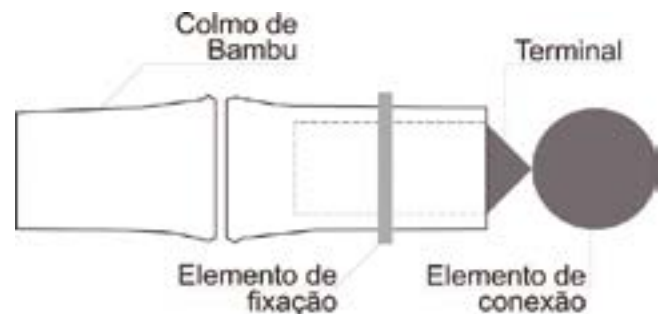
	adequada em relação ao elemento de bambu, permitir a instalação de materiais de recobrimento ou vedações, permitir a personalização das peças)
--	--

Fonte: Elaborada pelos autores

## 2.2. Definição dos elementos que compõem a ligação

Para efeitos práticos de entendimento do trabalho se faz a seguinte denominação às partes e peças que compõem a ligação. O conjunto da ligação é conformado pelo colmo de bambu - o terminal da ligação, os elementos de fixação (que fazem a amarração entre o terminal e o colmo) e os elementos de conexão (fazem a ligação do terminal com outros elementos da edificação). Na figura 01, detalham-se esses elementos.

Figura 01. Partes da ligação.

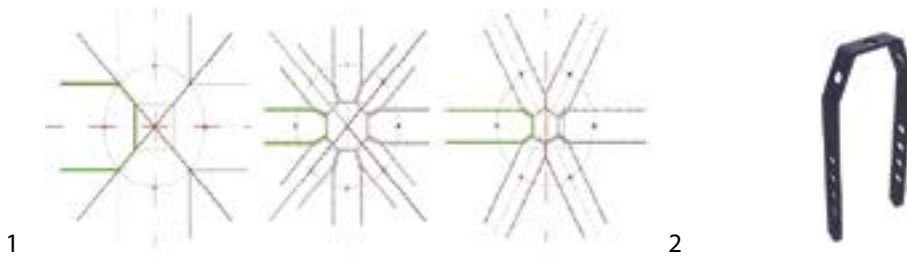


Fonte: Elaborada pelos autores

O processo de design formal do terminal da ligação iniciou com uma abstração de um cruzamento a 90° em um plano 2D. Depois foi abstraído um dos elementos do cruzamento para ser desenvolvido de maneira independente. O terminal da ligação foi projetado com superfícies de contato em diferentes ângulos. Após verificar as dimensões da peça e as normas para elementos metálicos foram definidas perfurações em cada superfície de contato nas quais estariam os pontos de conexão com outros elementos de ligação ou com elementos de bambu através de parafusos ou barras rosqueadas. (Figura 02)

Fonte: Elaborada pelos autores

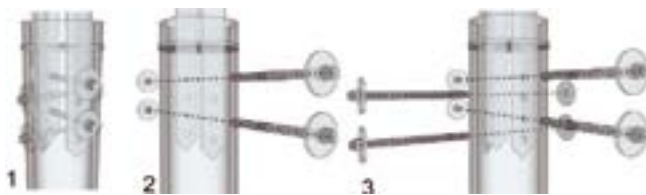
Figura 02. Imagens ilustrativas do processo de design do terminal. (1) abstração do cruzamento (2) Terminal da ligação em 3d



Fonte: Elaborado pelos autores

A ligação devia ter vários pontos de fixação ao elemento de bambu para distribuir as cargas, mas ao mesmo tempo permitir a remoção das peças, portanto, nas superfícies mais compridas do terminal foram feitas perfurações para fazer a fixação no colmo de bambu. As quatro perfurações feitas em cada superfície permitem alternar os elementos de fixação quando dispostos dois terminais em cruz no extremo do colmo (Figura 03).

Figura 03. Imagens ilustrativas montagem da ligação (1) Montagem terminal-colmo. (2) Montagem de um terminal (3) Montagem de dois terminais em cruz.



Fonte: Elaborada pelos autores

Para definir as dimensões das peças que compõem a ligação, foi levada em consideração a norma NSR-10 (2010) e a NBR 8800 (2008), nas quais se estabelecem as dimensões mínimas para os parafusos, barras rosqueadas, arruelas, espessuras de elementos metálicos e distâncias mínimas do centro de um furo padrão à borda do elemento. O título G da norma NSR-10 também especifica as distâncias mínimas dos parafusos ao extremo do colmo. Igualmente, foi levada em consideração a pesquisa de caracterização da anatomia da GAK realizada por Londoño (2002), na qual foi definida a média do diâmetro, espessura e a distância entre os nós em diferentes segmentos do colmo da Guadua em idade adulta.

Depois de levar em consideração as análises formais, os elementos compositivos e os parâmetros necessários para o design do elemento de ligação, foi decidido produzir duas tipologias diferentes de terminal, com o intuito de

conhecer, nos ensaios de laboratório, suas resistências e ter uma proposta econômica mas confiável para uso estrutural. A primeira tipologia, ou tipologia L25mm-P9, 5mm (3/8"), é composta de um terminal metálico de 4,8mm (3/16") de espessura e 25mm de largura, com perfurações de 10mm para o uso de parafusos e barras rosqueadas de 9,5mm (3/8"). O terminal conta com quatro perfurações em cada uma das partes mais compridas, para a fixação com o bambu, uma perfuração nas porções inclinadas e na superior como pontos de contato.

Segundo a NBR 8800 (2008), para parafusos ou barras rosqueadas de 12,5mm (1/2"), a distância mínima do centro de um furo padrão à borda do elemento, deve ser 19mm. A norma colombiana NSR-10 (2010) define essa distância em 19,1mm. Baseado nisso, foi projetada a segunda tipologia de terminal, tipologia L38mm-P12,5mm (1/2"), com o intuito de ter pontos de fixação com parafusos de 12,5mm (1/2"). A segunda tipologia se compõe de um terminal metálico de 4,8mm (3/16") de espessura e 38mm de largura. As duas tipologias contam com o mesmo número e localização das perfurações. As quatro perfurações nas partes mais compridas da peça são de 10mm, da mesma forma que na anterior, enquanto as perfurações nas superfícies inclinadas e na superior são de 12,5mm (1/2").

Para fixar o terminal no colmo de Guadua, foram utilizadas barras redondas rosqueadas de 9,5mm (3/8") de 15cm de comprimento, arruelas e porcas metálicas. Todos os elementos deviam ser de aço galvanizado de alta resistência para uso estrutural. A montagem da ligação foi feita introduzindo a peça metálica através dos furos feitos no nó e fixando-a no colmo com as barras rosqueadas, arruelas e porcas. As superfícies de contato ficaram expostas para fazer ligação através de parafusos, (Figura 04).

Figura 04. Processo de montagem do terminal no colmo de Guadua

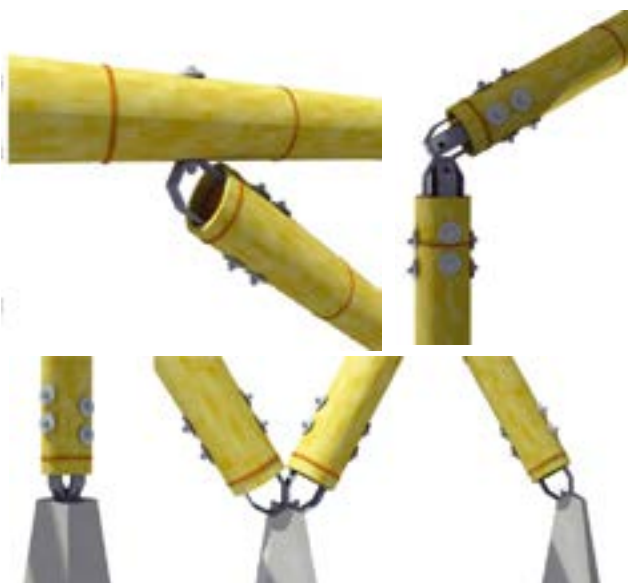


Fonte: Elaborado pelos autores.

### 2.3. Possibilidades formais e arquitetônicas da ligação

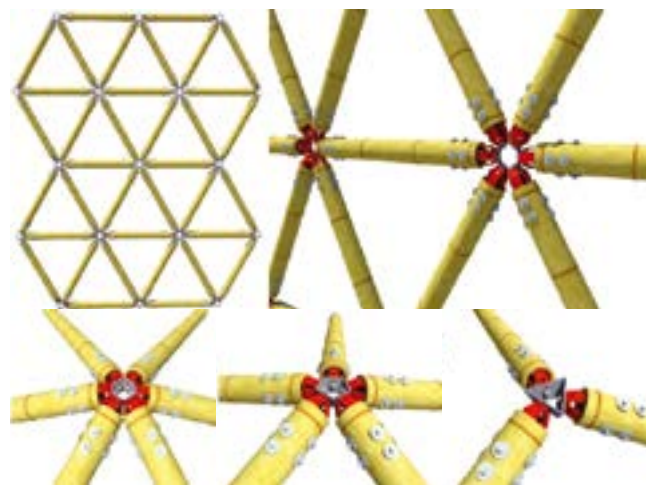
Mediante modelos tridimensionais foram simuladas as possibilidades de configuração de diferentes elementos arquitetônicos que poderiam ser construídos com a ligação proposta. Essa fase permitiu conhecer as possibilidades compositivas de uso da ligação para configurações tradicionais de colunas, vigas, treliças e outros, assim como também para elementos não ortogonais como estruturas e vedações curvas, inclinadas, para cúpulas, abobadas e domos. Também foi possível quantificar componentes e definir processos construtivos com o intuito de otimizar a manutenção e evitar patologias. Nas figuras 05 e 06, apresentam-se alguns exemplos de configurações estruturais, superfícies e elementos arquitetônicos projetados com a ligação.

Figura 05. Ligação terminal-colmo. Ligação terminal-terminal. Conexão terminal-base em diferentes ângulos



Fonte: Elaborada pelos autores

Figura 06. Configuração de superfícies por ligação de seis terminais em disposição radial. Configuração de fachadas com conector tipo aro. Conexão hexagonal, pentagonal e triangular para conformação de domos



Fonte: Elaborada pelos autores

### 2.4. Análise do desempenho estrutural da ligação

Definidos os elementos que compõem a ligação, foram feitos ensaios de laboratório para determinar a resistência da ligação. Os corpos de prova foram feitos com seções de colmo, de 45 cm de comprimento, em média, de bambu Guadua, garantindo a presença de uma seção completa de entrenó e dois nós. Para os ensaios de laboratório foi utilizado bambu Guadua *Angustifolia Kunth* com as especificações para construções fornecidas pela norma NSR-10 da Colômbia. Assim, os colmos utilizados nos ensaios tiveram as seguintes características: Corte em idade madura ao redor de 4 anos, tratamento de preservação por imersão com produtos à base de Boro, secagem em forno automatizado, garantindo conteúdo de umidade de 12% (+/- 3%) e acabamento exterior polido.

No laboratório de estruturas da Universidade Nacional da Colômbia em Medellín, foram realizados ensaios de resistência a esforços no sentido axial em corpos de prova de bambu Guadua com o sistema de ligação proposta. Foi utilizada, para os ensaios, uma prensa universal PINZUAR automatizada com capacidade até 1000 kN. Para os corpos de prova submetidos à tração foram colocadas duas peças terminais da ligação desenvolvida, uma para cada extremo do colmo. Para os corpos de prova submetidos à compressão foi colocado um sistema de ligação com peça terminal num extremo do colmo, no qual foi aplicada a pressão. Nenhum dos corpos de prova foi preenchido com concreto no entrenó, visando conhecer a resistência da ligação nessa condição.

Nos ensaios de esforço axial à tração foram testados quatro corpos de prova, os dois primeiros com a terminal da tipologia L25mm-P9,5mm (3/8"), um deles com um terminal linear e o outro com dois terminais em cruz em cada um dos extremos do colmo. Os outros dois corpos de prova tinham o sistema de ligação com o terminal da tipologia L38mm-P12,5mm (1/2"), um corpo de prova com um terminal em cada um dos extremos e outro corpo de prova com dois terminais em cruz em cada extremo do colmo.

**Ensaio 1.** Ensaio de esforço axial à tração. Corpo de prova TRA – 9,5mm (3/8") – L

O corpo de prova foi conformado por uma secção de colmo, com 464 mm de comprimento, uma média no diâmetro de 123 mm e 10 mm de espessura nas paredes, além de duas peças terminais, uma em cada extremo do colmo, do tipo L25mm-P9,5mm (3/8"). A ruptura do corpo de prova sob tração, aconteceu com carga de 13,52 kN, por falha no colmo de Guadua. O corpo de prova apresentou deformações nas peças terminais e nas barras rosqueadas de fixação colmo-terminal, além de rachaduras no bambu no sentido longitudinal desde os dois extremos gerando a ruptura por cisalhamento paralela às fibras (Figura 07).

Figura 07. Procedimento do ensaio de tração no corpo de prova.



Fonte: Elaborada pelos autores

**Ensaio 2.** Ensaio de esforço axial à tração. Corpo de prova TRA – 3/8" – X

O corpo de prova estava conformado por um colmo de bambu de 448 mm de comprimento, 124 mm de diâmetro e 10 mm de espessura das paredes. Foram colocadas 4 peças terminais do tipo 1, L25mm-P9,5mm (3/8"), dois em cada extremo do colmo dispostas em cruz. A ruptura do corpo de prova sob tração aconteceu com carga de 14,67 kN, por falha das barras rosqueadas nos extremos do sistema utilizadas para sujeição com as mordanças da prensa. Apresentaram-se ligeiras deformações nas peças terminais, quase imperceptíveis visualmente, na superfície de contato com as barras de acoplamento à prensa. O colmo de Guadua não apresentou nenhuma deformação ou rachadura.

**Ensaio 3.** Ensaio de esforço axial à tração. Corpo de prova TRA – 1/2" – L

O corpo de prova foi conformado por uma secção de colmo, de 430 mm de comprimento, 129 mm de diâmetro e 11 mm de espessura das paredes, além de duas peças terminais, uma em cada extremo do colmo, do tipo L38mm-P12,5mm (1/2"). A ruptura do corpo de prova sob tração aconteceu com carga de 13,59 kN, por falha no colmo de bambu Guadua. O corpo de prova apresentou ligeiras deformações nas peças terminais e nas barras rosqueadas de fixação colmo - terminal. O bambu apresentou rachaduras no sentido longitudinal do colmo desde os dois extremos, provocando a ruptura do corpo de prova.

**Ensaio 4.** Ensaio de esforço axial à tração. Corpo de prova TRA – 12,5mm (1/2") – X

O corpo de prova foi conformado por um colmo de bambu de 461 mm de comprimento, 124 mm de diâmetro e 11 mm de espessura das paredes. Foram colocadas 4 peças terminais do tipo L38mm-P12,5mm (1/2"), dois em cada extremo do colmo dispostas em cruz. A ruptura do corpo de prova sob tração aconteceu na carga de 32,40 kN, por falha das barras rosqueadas nos extremos da amostra, utilizadas para sujeição com as mordanças da prensa. Não se evidenciaram deformações nas peças terminais, mas as barras rosqueadas de fixação terminal - colmo apresentaram uma ligeira excentricidade. O colmo de Guadua não apresentou nenhuma deformação ou rachadura.

No ensaio de esforço axial à compressão, foram ensaiados igualmente quatro corpos de prova, dois deles utilizando o terminal da primeira tipologia, um terminal só e dois terminais em cruz respectivamente. Os outros dois corpos de prova utilizaram a mesma configuração de terminais (um linear e dois em cruz) mas, com terminais da tipologia L38mm-P12,5mm (1/2").

**Ensaio 5.** Ensaio de esforço axial a compressão. Corpo de prova COM 9,5mm (3/8") – L

O corpo de prova foi conformado por um colmo de bambu de 459 mm de comprimento, 115 mm de diâmetro e 12 mm de espessura das paredes. Foi colocada uma peça terminal do tipo L25mm-P9,5mm (3/8"). A ruptura do corpo de prova COM – 9,5mm (3/8") – L, sob compressão aconteceu com carga de 12,25 kN, por falha do colmo de bambu Guadua. A pressão na superfície do terminal deformou o elemento metálico por achatamento, fazendo com que as partes inclinadas do terminal fizeram pressão nas paredes do bambu, gerando fortes rachaduras e a falha no colmo por tração perpendicular às fibras. O bambu na sua base não sofreu alterações físicas visíveis pelos esforços de compressão. (Figura 08)

Figura 08. Procedimento do ensaio de compressão no corpo de prova COM – 3/8" – L.



Fonte: Elaborada pelos autores

**Ensaio 6.** Ensaio de esforço axial a compressão. Corpo de prova COM 9,5mm (3/8") – X

O Corpo de prova foi conformado por um colmo de bambu de 433 mm de comprimento, 129 mm de diâmetro e 13 mm de espessura das paredes. Foram colocadas duas peças terminais dispostas em cruz, do tipo L25mm-P9,5mm (3/8"). As peças terminais da ligação começaram a apresentar deformações em torno de 17 kN, porém os terminais trabalharam sem falha até a carga de 30 kN, quando a prensa entrou em contato com o colmo, por causa do achatamento dos terminais. A pressão na superfície do terminal deformou os elementos metálicos fazendo com que as partes inclinadas do terminal fizessem pressão nas paredes do bambu, gerando fortes rachaduras no colmo por tração perpendicular às fibras. No entanto, a prensa não estabeleceu um ponto de falha, pois a deformação das peças foi de maneira lenta e contínua, até apoiar na Guadua. O bambu na sua base não sofreu alterações físicas visíveis.

**Ensaio 7.** Ensaio de esforço axial a compressão. Corpo de prova COM – 12,5mm (1/2") – L

O corpo de prova esteve conformado por um colmo de bambu de 450 mm de comprimento, 124 mm de diâmetro e 12 mm de espessura das paredes. Foi colocada uma peça terminal do tipo L38mm-P12,5mm (1/2"). A ruptura do corpo de prova sob compressão aconteceu com carga de 16,19 kN, por falha da Guadua. A pressão na superfície do terminal deformou o elemento metálico fazendo com que as partes inclinadas gerassem empuxo nas paredes do bambu, causando falha no colmo por tração perpendicular às fibras. O bambu na sua base não sofreu alterações físicas visíveis.

**Ensaio 8.** Ensaio de esforço axial a compressão. Corpo de prova COM –12,5mm (1/2") – X

O corpo de prova foi conformado por um colmo de bambu de 380 mm de comprimento, 130 mm de diâmetro e 14 mm de espessura das paredes. Foram colocadas duas

peças terminais dispostas em cruz, do tipo L38mm-P12,5mm (1/2"). As peças terminais começaram a apresentar deformações com a carga de 19 kN depois, os terminais trabalharam sem falha, até a carga de 31,86 kN, quando a prensa se apoiou no colmo. A pressão na superfície do terminal deformou os elementos metálicos fazendo com que as partes inclinadas do terminal fizessem pressão nas paredes do bambu, gerando fortes rachaduras no colmo por tração perpendicular às fibras. Da mesma maneira que no ensaio 6, a prensa não estabeleceu um ponto de falha, pela deformação lenta e contínua das peças até apoiar na Guadua. O bambu na sua base não sofreu alterações físicas visíveis

### 3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

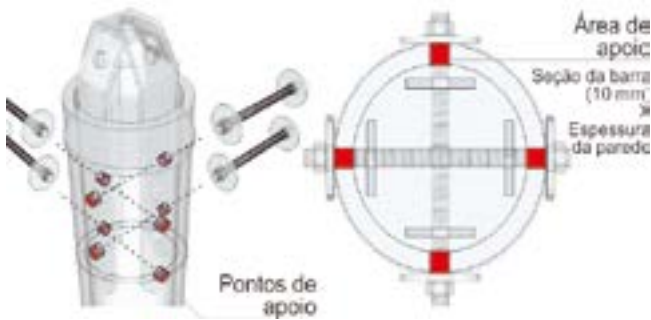
Os resultados foram comparados com os valores de referência que a norma NSR-10 (2010), da Colômbia, que fornece os dados para o cálculo de estruturas com Guadua. A norma define os seguintes valores como tensões admissíveis para colmos de bambu Guadua Angustifolia Kunth de 12% de coeficiente de umidade:

Elementos submetidos à flexão = 15 Mpa

Elementos submetidos à tração = 18 Mpa

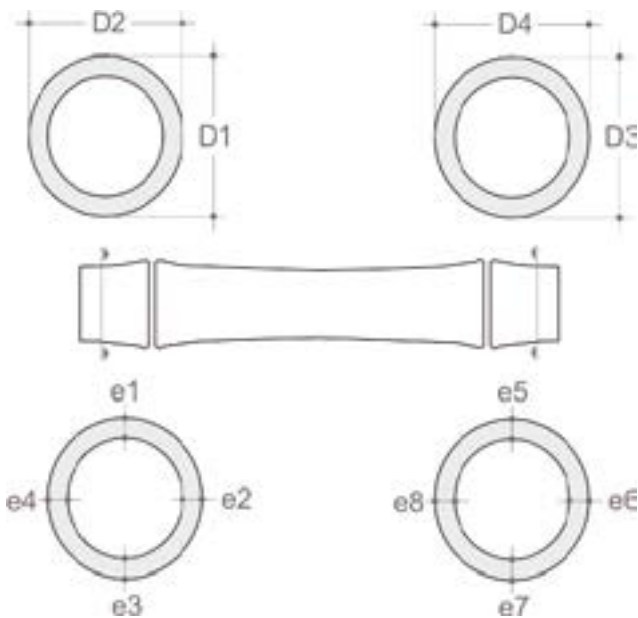
Assim, os valores de resistência fornecidos pela prensa em kN foram convertidos a MPa e calculada a porcentagem de conformidade em relação à norma de referência. A área de contato foi estabelecida pelo sistema de fixação, contando para o cálculo, a área dos pontos de contato das barras rosqueadas de fixação do terminal com o colmo de bambu. Para determinar o valor da área foi multiplicada a seção da barra pela espessura das paredes do colmo e pelo número de pontos de contato. Os dados dos colmos utilizados nos ensaios foram obtidos da seguinte maneira: O diâmetro do colmo é obtido da média das dimensões dos diâmetros nos eixos x e y num plano paralelo ao corte do colmo. A média é obtida de 4 dimensões, 2 em cada extremo do colmo. A espessura das paredes do colmo é obtida da média da espessura de cada seção no sentido x e y num plano paralelo ao corte do colmo. Quatro dimensões de cada extremo do colmo fornecem a média da espessura da amostra. Nas figuras 09 e 10 é ilustrado esse procedimento.

Figura 09. Determinação da área de contato de transmissão de esforços na Guadua



Fonte: Elaborada pelos autores

Figura 10. Imagem ilustrativa da obtenção de dados de diâmetro e espessura de parede dos colmos.



Fonte: Elaborada pelos autores

Na tabela 02, são apresentados os valores de resistência da ligação em kN e MPa para cada corpo de prova. Além disso, é calculada a percentagem de resistência quando comparado com os valores de tensões admissíveis fornecidos pela norma.

Tabela 02. Resultados dos ensaios em MPa e comparativo com as tensões admissíveis da Guadua Angustifolia Kunth segundo a NSR-10.

Corpo de prova	Ponto de falha kN	Resistência a MPa	% de resistência/norma
TRA-3/8"-L	13,52	33,80	187,7%
TRA-3/8"-X	14,67a	18,33	101,8%
TRA-1/2"-L	13,59	30,88	171,6%
TRA-1/2"-X	32,40a	36,81	204,5%
COM-3/8"-L	12,25	25,52	182,3%
COM-3/8"-X	17,00b	16,35	116,8%
COM-1/2"-L	16,19	33,73	240,9%
COM-1/2"-X	19,00b	16,96	121,2%

a = A falha apresentou-se na barra rosqueada de sujeição à prensa

b= O cálculo se fez com os valores do início da deformação das peças.

Fonte: Elaborada pelos autores

#### 4. CONCLUSÕES

O terminal fornece uma grande versatilidade na configuração de estruturas, ainda mais, quando combinado com elementos de conexão produzidos especialmente para o tipo de estrutura a desenvolver.

O processo de montagem da peça terminal no bambu Guadua na elaboração dos corpos de prova para os ensaios, foi feito de maneira ágil, levando aproximadamente 7 minutos na montagem de um terminal ao colmo. Igualmente a peça terminal adaptou-se, em todos os casos, ao colmo de Guadua denominado comercialmente como Guadua de 12cm de diâmetro.

O funcionamento e montagem da peça, fazem com que sua utilização na construção de estruturas possa ser feita com poucos operários e não requerem qualificação especial. O material dos elementos da ligação faz dela um sistema durável, ainda mais, com a proteção adequada. Po



de-se assumir que a ligação teria uma vida útil maior do que o bambu mesmo.

A ligação apresenta bom desempenho estrutural, toda vez que nos ensaios realizados ultrapassou os valores de referência de tensões admissíveis fornecidos para elementos estruturais com a *Guadua Angustifolia* Kunth na norma NSR-10. O melhor desempenho da ligação se dá em relação aos esforços axiais de tração. Isso é possível pela forma do terminal e o sistema de fixação ao colmo em vários pontos.

Pode-se dizer que, mesmo sendo um parâmetro não quantificável, o resultado formal da peça terminal é satisfatória. A proporção do terminal, em relação ao colmo de bambu, é correta e não representa uma forma estranha dentro do sistema da estrutura. Igualmente, o terminal pode ser personalizado com diferentes tintas que, além do proteger a peça, significam maiores possibilidades na estética da edificação.

Pela forma e material do terminal, que é o corpo principal da ligação, é possível industrializar sua produção. Os processos de fabricação são processos básicos de dobra e perfuração que podem ser executados em uma siderúrgica nacional. O anterior tem repercussão tanto no custo do terminal quanto na difusão do sistema, ainda mais, quando os outros elementos que complementam a ligação, são comerciais, como as barras rosqueadas, porcas e arruelas.

## REFERÊNCIAS

1. ABNT NBR 8800 – **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto em edifícios**, 2008.
2. GHAVAMI, K.; MARINHO, A. B. **Propriedades físicas e mecânicas do colmo inteiro do bambu da espécie *Guadua angustifolia***. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, n.1, p. 107–114, 2005.
3. LONDOÑO, X. et al. **Characterization of the anatomy of *Guadua Angustifolia* (Poaceae: Bambusoideae) culms**. **Bamboo Science and Culture: The Journal of the American Bamboo Society** 16, v. 16, p. 18–31, 2002.
4. NSR-10 - Título G: **Estructuras de Madera y Estructuras de *Guadua*. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente**. Colombia: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. República de Colombia, 2010.
5. REN21. Renewables Global Status Report. Acessado em: julho 2015. Disponível em: <http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report/>
6. STAMM, J. La Evolución de los Métodos constructivos en Bambú Segundo Congreso Mexicano del Bambú Puebla, México, 2008.