

Metodologia com eficiência estrutural na execução de tesouras de bambu, fundamentada em ensaios experimentais

Methodology with structural efficiency in the execution of bamboo howe trusses, based on experimental tests

Gustavo Proni, Estudante de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Londrina.

gustavoproni@hotmail.com

Vitória Maria Gonçalves, Estudante de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Londrina.

vitoriamgonc@gmail.com

Gilberto Carbonari, Doutor, Universidade Estadual de Londrina.

prof.gilberto.carbonari@gmail.com

Resumo

O bambu é considerado o aço dos vegetais, pois além de ser renovável, de baixo peso específico, apresenta excelentes propriedades mecânicas. Com os resultados recentes de pesquisas que comprovam a garantia da durabilidade frente ao ataque de insetos, utilizando um tratamento natural com Tanino, torna-se necessário que se façam pesquisas de aplicações estruturais para o bambu. Nesse sentido, o presente trabalho consiste na análise experimental do comportamento mecânico de seis tesouras em bambu, da espécie *Dendrocalamus giganteus*, que tiveram seus apoios reforçados através do preenchimento de graute e a inserção de abraçadeiras. Os resultados comprovaram que os referidos reforços, além da utilização de barras roscadas nas uniões das barras das tesouras, agregam um significativo acréscimo de resistência mecânica para a referida estrutura de bambu.

Palavras-chave: Tesouras de bambu ; Eficiência estrutural ; Análise experimental.

Abstract

*Bamboo is considered to be the steel of vegetables because, besides being renewable and of low specific weight, it also boasts excellent mechanical properties. With the results of recent studies proving its guaranteed durability against insect attacks through a natural tannin treatment, further research into the structural applications of bamboo has become necessary. As such, this study consists of the experimental analysis of the mechanical behavior of six shears, the supports of which were reinforced with grout filling and the insertion of clamps, on the *Dendrocalamus giganteus* species of bamboo. The results proved that said reinforcements, in addition to the use of threaded bars in the shear-bar joints, significantly boost the mechanical resistance of the bamboo's structure.*

Keywords: *Bamboo howe trusses ; Structural efficiency ; Experimental analysis.*

1. Introdução

Desde 2009 o grupo de pesquisa Bambu-UEL cadastrado no CNPq, vem realizando pesquisas com bambu (BARBOSA, 2017; CARBONARI, 2013; CARBONARI et al., 2016; CARBONARI et al., 2017; GONÇALVES, 2018; PRONI, 2018).

As tesouras são estruturas utilizadas para suportar o telhado de edificações, e geralmente são executadas com madeira de várias espécies. As madeiras mais resistentes, ou as mais nobres, são escassas. Neste sentido, o bambu pode vir a ser uma excelente opção, pois além de ter elevada resistência mecânica, é leve, renovável, e também com grande durabilidade frente ao ataque de insetos, graças ao tratamento com tanino, através do Método de Boucherie modificado, conforme solicitação de patente depositada no IMPI (CARBONARI, 2013).

Utilizar o bambu para a construção de tesouras é uma alternativa muito interessante devido ao seu rápido crescimento. O bambu é a planta de crescimento mais rápido do planeta. Algumas espécies podem crescer até um metro por dia. Este padrão de crescimento o torna facilmente acessível num pequeno espaço de tempo. O bambu vem se mostrando como uma excelente alternativa renovável devido ao seu excelente rendimento florestal. Este rendimento chega a 40 ton/ha.ano, além de dispensar plantio na mesma área por mais de 100 anos (PINHEIRO; NUNES, 2007). Com idade entre 3 e 6 anos, o bambu já pode ser utilizado estruturalmente na construção civil (VASCONCELLOS, 2004).

O uso do bambu garante tesouras leves e resistentes. “O bambu é um material com grande resistência. A razão entre o peso do bambu e a força que ele suporta é superior à do aço.” (CARBONARI et al 2017; VASCONCELLOS, 2004).

Neste trabalho, apenas a espécie *Dendrocalamus giganteus* foi analisada, devido a suas grandes dimensões de diâmetro externo e espessura, que conferem maior resistência mecânica se comparadas a outras espécies. Duas técnicas de reforço nos apoios das tesouras serão comparadas. As seis tesouras em bambu executadas possuem seus apoios preenchidos com graute, sendo três confinados por fitas metálicas furadas, e outras três com abraçadeiras de aço.

2. Materiais e Métodos

Optou-se por executar seis tesouras em bambu, utilizando a mesma técnica de ligação entre as peças por barras roscadas, com exceção das barras de contraventamento, que foram ligadas por ligação pregada, devido aos esforços solicitantes desprezíveis.

Os cortes das barras de bambu foram efetuados no bambuzal da Universidade Estadual de Londrina. O critério de escolha foi coletar barras com idade entre 3 e 6 anos, de modo a conferir maior resistência mecânica. Além disso, selecionaram-se as que não possuíam agentes patológicos. O corte foi realizado com o uso de motosserras na parte inferior da barra, com posterior esforço de tração em um ponto cerca de 20 cm acima do corte. Isto foi realizado com um trator, que tracionava uma corda amarrada a ele. Posteriormente cortaram-se as barras no tamanho desejado, também com a motosserra, porém com uma

folga de 20 cm de cada lado, devido aos futuros esculpimentos nas extremidades, necessários para realizar as ligações entre as peças. Além disso, cortou-se uma barra a mais de cada tamanho, para servir de reserva. Na figura 1 são comparadas três das principais condições das barras de bambu, onde a letra A representa uma barra que está apropriada para uso estrutural, pois aparenta ter entre 3 e 6 anos de idade, sem apresentar agentes patológicos. A barra com a letra B corresponde a um bambu ainda muito jovem, com menos de 3 anos de idade, ainda em crescimento, portanto não poderá ser utilizado para fins estruturais. A barra com a letra C tem a aparência de ter uma idade bem superior a 6 anos, devido a quantidade de fungos na sua superfície.

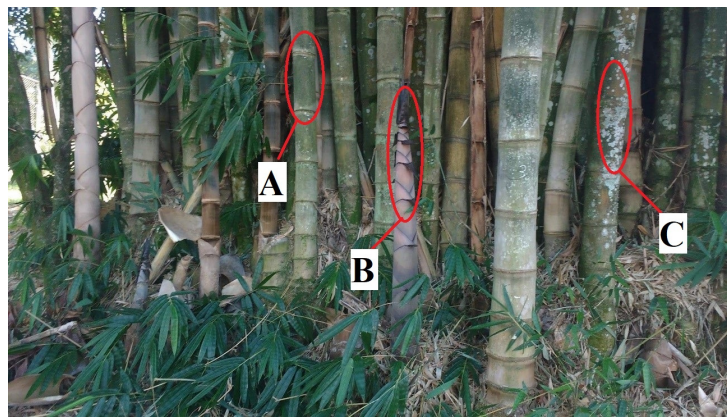


Figura 1: Bambuzal onde foram cortadas as barras (UEL). Fonte: autores.

Após o corte das barras de bambu, elas foram transportadas para o laboratório, onde ficaram dispostas horizontalmente, o mais longe possível umas das outras, seguindo as limitações de espaço do ambiente, com o intuito de acelerar o procedimento de perda da umidade. Foi necessário esperar três meses para uma secagem apropriada (figura 2-A e figura 2-B). Nota-se, entre as fotos das referidas figuras, a acentuada diminuição da coloração esverdeada, indicando que as barras da figura 2-A já estavam aptas para o início da execução das tesouras.



Figura 2: Secagem das barras de bambu. Fonte: autores.

O início da montagem das tesouras consistiu na preparação dos banzos inferiores, formados por barras de bambu de $3m$, a fim de serem conectadas às demais barras. Em cada uma destas barras marcou-se três pontos: as duas extremidades onde se deu o início dos encaixes, e o centro.

Nos extremos da tesouras desenhou-se o formato dos encaixes do banzo inferior com o auxílio de um molde, com um ângulo de aproximadamente 30° . Em seguida, efetuou-se o corte destas extremidades com o intuito de preparar os encaixes. Executou-se também um furo no centro destas barras, de modo a atravessá-las diametralmente.

O vértice superior da tesoura, local onde foi aplicada a carga concentrada nos ensaios, foi executado com um pequeno elemento de bambu, de aproximadamente 20 cm de comprimento, e 14 cm de diâmetro externo. Manteve-se o diafragma no centro do referido elemento de bambu, com o intuito de aumentar a sua resistência ao esmagamento.

Esta solução oferece mais praticidade no processo construtivo, quando comparada com um elemento maciço de madeira, pois facilita a passagem das barras roscadas de aço na união das barras de bambu.

A altura da tesoura foi limitada em aproximadamente 1 m , devido ao espaço disponível do pórtico de carga da máquina de ensaio do laboratório.

A determinação do comprimento máximo das barras verticais consistiu na subtração entre $1,05\text{ m}$ e $0,31\text{ m}$. Esta segunda medida é a soma da maior medida aferida de diâmetro externo do banzo inferior, $0,17\text{ m}$, com a medida diametral externa do nó de aplicação de carga, $0,14\text{ m}$. As barras verticais foram executadas respeitando estes limites de comprimento.

As ligações entre as barras de bambu, excetuando as de contraventamento, foram executadas através de barras roscadas de aço.

Nas fotos da figura 3 pode-se ver a seqüência com que foram executadas as ligações entre as barras de bambu das tesouras. Na figura 3-A se ilustra a ligação entre o banzo inferior e a barra vertical, e desta última com o nó superior. Já na figura 3-B pode-se constatar como foi efetuada a união entre o referido nó com os banzos superiores. Na foto da figura 3-C se observa o detalhe do encaixe entre as barras superior e inferior, na região de apoio da tesoura.

Na figura 3-A e na figura 3-B as barras roscadas encurvadas no extremo se engancham às retas, que estão transfixadas diametralmente no bambu. Na figura 3-C, a ligação consiste em apenas uma barra roscada reta. A rigidez destas ligações é garantida pelo aperto de rosca das extremidades livres das barras roscadas. Cada uma das referidas extremidades é indicada com um ponto amarelo nas três figuras.

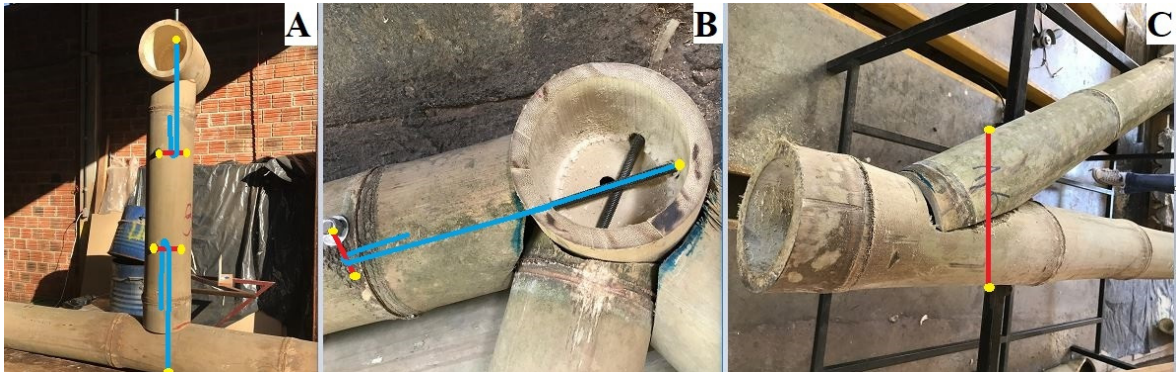


Figura 3: Ligações efetuadas com barras roscadas de aço. Fonte: autores.

Após executadas as ligações por barras roscadas, efetuaram-se as ligações das barras de contraventamento. Elas foram fixadas nas tesouras por ligações pregadas, tanto no banzo inferior quanto no superior. Não foi necessário ligá-las através de barras roscadas, pois os esforços solicitantes atuantes nelas são desprezíveis.

O graute foi a opção escolhida como material de preenchimento dos apoios das tesouras, devido a sua elevada fluidez e elevada resistência característica à compressão de 50 MPa . Estas duas características são essenciais, pois este material é capaz de preencher com facilidade os colmos do bambu, bem como contribuir consideravelmente na resistência mecânica dos apoios das tesouras.

Para preencher com graute a região dos apoios, as tesouras foram colocadas em posição invertida em uma estrutura provisória de madeira, conforme ilustrado na figura 4. A concretagem se deu por inserção de graute em furos de 4 cm de diâmetro na parte inferior da ligação dos apoios. Estes furos estão destacados e numerados de 1 a 12. A vedação, que se mostrou eficiente na maioria das vezes, se deu por uso de plástico bolha e da fita adesiva.



Figura 4: Concretagem dos apoios das tesouras. Fonte: autores.

As dimensões finais das tesouras estão mostradas na figura 5. É possível notar a proximidade das dimensões entre as barras da tesoura. Ilustra-se também nesta figura o modo de aplicação da carga, que consiste em uma carga concentrada, vertical e para baixo, aplicada no nó superior das tesouras. Sua aplicação foi realizada com um macaco hidráulico e uma célula de carga, que suporta até 100 kN.

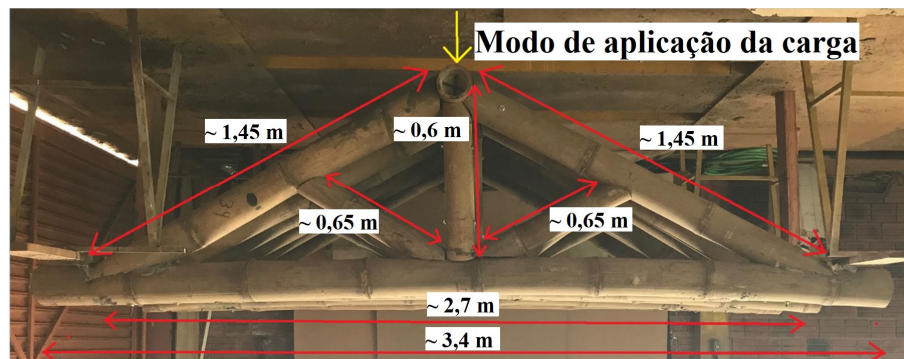


Figura 5: Dimensões finais das tesouras e modo de aplicação da carga. Fonte: autores.

As tesouras foram vinculadas com um apoio de 1º gênero (figura 6-A), e outro de 2º gênero (figura 6-B), garantindo que a estrutura se comportasse estruturalmente como isostática. A vantagem desta configuração é que os deslocamentos horizontais da tesoura são absorvidos pelo apoio.

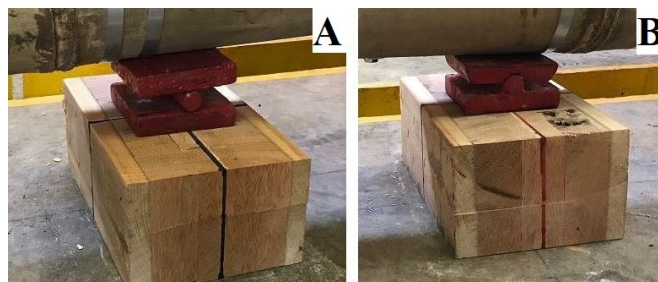


Figura 6: Apoios das tesouras. Fonte: autores.

Os deslocamentos foram medidos através de transdutores de deslocamento LVDT (*Linear Voltage Differential Transformer*). O funcionamento do referido aparelho consiste em empurrar a haste em direção ao próprio aparelho, pois é com o posterior alívio de força que as medições são efetuadas.

Foram instalados três destes aparelhos em cada tesoura, sendo dois na região central do banzo inferior, e outro junto ao nó de aplicação de carga, permitindo medir os deslocamentos da parte superior e inferior da tesoura.

Nas seis tesouras em bambu executadas, foram comparadas duas técnicas diferentes de reforço nos apoios, sendo que as tesouras 1, 2 e 3 tiveram seus apoios preenchidos com

graute e confinados por fitas metálicas, enquanto que os apoios das tesouras 4, 5 e 6, além do preenchimento de graute, foram confinados por abraçadeiras de aço. As tesouras foram numeradas desta forma, pois partiu-se do pressuposto que as abraçadeiras, por serem mais espessas que as fitas, contribuem de forma mais eficaz para a resistência mecânica dos apoios. Desta forma, os resultados ficam dispostos praticamente de forma crescente.

Foram utilizadas três abraçadeiras (ou fitas metálicas, dependendo da tesoura) por apoio. A ideia inicial era a de inseri-las na seguinte disposição: duas delas no banzo inferior, sendo uma delas antes do encontro dos dois banzos e a outra após, enquanto que a terceira estaria logo no início do banzo superior, após o referido encaixe.

Este arranjo visava confinar por igual o apoio das tesouras. Porém, decidiu-se realocar uma delas, movendo-a da região antes do encaixe no banzo inferior para após este encontro dos dois banzos, na extremidade da tesoura. Isto foi realizado, pois é nesta região, no extremo da tesoura, onde ocorre o cisalhamento longitudinal no bambu. Além disso, seria possível constatar se houve alguma deficiência no confinamento do apoio.

Na foto da figura 7-A está mostrada a configuração dos apoios das tesouras 1, 2 e 3, enquanto que na foto da figura 7-B se apresentam os detalhes das regiões dos apoios das tesouras 4, 5 e 6.

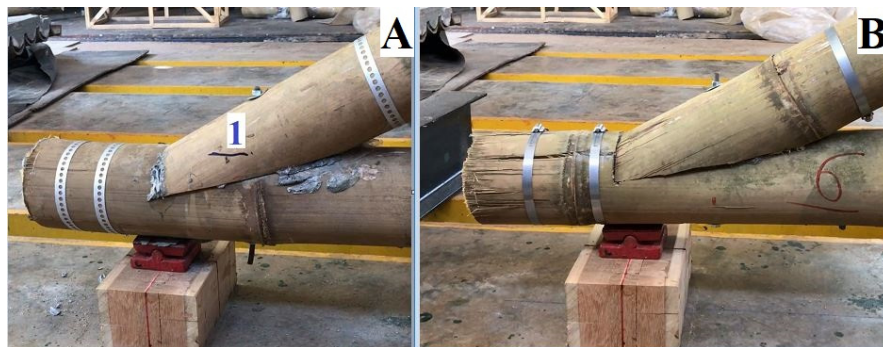


Figura 7: Configurações dos apoios das tesouras. Fonte: autores.

Nota-se na figura 8 a devida centralização da tesoura no pórtico de ensaio, permitindo assim uma aplicação de carga com o mínimo de excentricidade possível. São destacados também nesta figura os principais elementos que permitiram que o ensaio fosse bem executado.

Os cavaletes de madeira possuem a função de impedir o tombamento das tesouras durante o ensaio. Foram utilizados dois cavaletes, sendo um em cada extremidade da tesoura.

Vale ressaltar que a prensa hidráulica, utilizada no ensaio, estava ligada à um sistema automatizado de leitura de dados durante a execução dos ensaios das tesouras, de modo a registrar a carga e os deslocamentos a cada três centésimos de segundo.

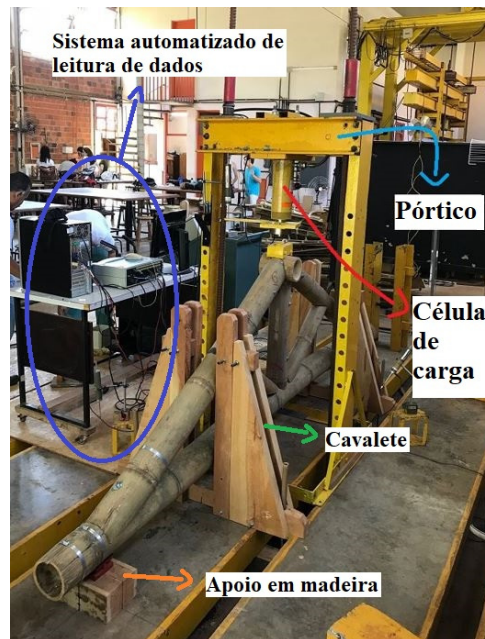


Figura 8: Tesoura devidamente alinhada para a realização do ensaio. Fonte: autores.

3. Resultados e Discussões

Como resultados dos ensaios, mediram-se os deslocamentos das tesouras e a carga aplicada, desde o início do ensaio até a ruptura das tesouras.

Com relação as cargas, as tesouras tiveram as seguintes cargas de ruptura: a tesoura 1 de 47 kN, a tesoura 2 de 42 kN, a tesoura 3 de 36 kN (Este é o valor da carga máxima registrada, pois o limite de deslocamento da prensa foi atingido antes da ruptura), a tesoura 4 de 65 kN, a tesoura 5 de 51 kN, e a tesoura 6 de 48 kN.

Nota-se dos resultados acima que a técnica mais eficiente de reforço nos apoios foi aquela onde foram utilizadas as abraçadeiras de aço, pois as tesouras 4, 5 e 6, que utilizaram esta técnica, apresentaram melhores resultados que as outras três tesouras, que tiveram a utilização de fitas metálicas. Isto se deve à maior espessura das abraçadeiras se comparadas com as fitas, e também porque as abraçadeiras são maciças, enquanto que as fitas têm furos redondos ao longo delas.

Conforme observado anteriormente, nenhum dos apoios da tesoura 3 sofreu ruptura, pois muito provavelmente houve a amplificação de uma fissura pré-existente na região central do banzo inferior, que acomodava a carga proveniente da prensa. Desta forma, atingiu-se o limite de deslocamento da máquina de ensaio (prensa), antes mesmo de romper qualquer um dos apoios. Para evitar este problema, seria interessante a inserção de duas abraçadeiras de aço nesta região central do banzo inferior, bem como projetar a tesoura de modo que a barra vertical incidia em um diafragma do referido banzo.

Nas fotos das figuras 9-A, 9-B e 9-C estão ilustradas três situações distintas encontradas durante a realização dos ensaios: na foto da figura 9-A o apoio que sofreu ruptura da tesoura 1, na iminência do colapso; na foto da figura 9-B o apoio que sofreu ruptura da

tesoura 6 , na iminência do colapso; e na foto da figura 9-C o apoio que sofreu ruptura da tesoura 4, na iminência do colapso.



Figura 9:Três situações distintas capturadas na iminência da ruptura. Fonte autores.

Nota-se na figura 9-A (tesoura 1) que o banzo superior transfere a carga tanto para o bambu a (cisalhamento) quanto para o graute (compressão diametral). O preenchimento do graute deste apoio foi bem executado, pois não houve esmagamento entre os banzos nesta região. O problema desta situação está no fato de existir este cisalhamento, pois assim o banzo superior se movimentava, introduzindo tensões de flexão na barra roscada deste apoio. Estas referidas tensões induzem o graute a se romper precocemente.

Já na figura 9-B (tesoura 6) percebe-se que o banzo superior incide apenas no graute do banzo inferior, pois o bambu não está sendo solicitado ao cisalhamento. Isto tende a ocorrer quando o diâmetro externo do banzo superior é de pelo menos $0,01 m$ menor que o inferior. O enchimento com graute neste apoio, no entanto foi mal executado, devido ao intenso esmagamento entre os banzos. Apesar de não ter ocorrido o cisalhamento verificado na tesoura 1, outro problema ocorreu: devido à má execução, a seção transversal de graute na região do apoio foi bastante reduzida, perdendo assim a resistência mecânica deste apoio.

A tesoura 4, ilustrada na figura 9-C, teve uma carga de ruptura consideravelmente maior que as outras tesouras, pois, além do graute de seus apoios ter sido bem executado, o banzo superior incidiu diretamente no graute do banzo inferior. Desta forma, a resistência mecânica do graute foi totalmente aproveitada. Isto pode ser comprovado pela ausência de cisalhamento e esmagamento na região do apoio até a iminência da ruptura. Esta é, portanto, a principal técnica construtiva que deve ser aplicada para se obter uma tesoura em bambu de máxima eficiência estrutural.

O diafragma, quando mantido intacto na região do apoio, confere grande resistência ao esmagamento, e auxilia no confinamento do graute. Esta importante técnica construtiva, de forma análoga ao que foi visto anteriormente, também pertence à tesoura 4. Ou seja, o conjunto graute-barra roscada, confinado pelo bambu e pelas abraçadeiras é o procedimento metodológico que mais contribuiu para o ganho de resistência mecânica dos apoios das tesouras.

O correto alinhamento dos banzos superiores com os apoios de 1º e 2º gênero favorece uma compressão direta no graute confinado no banzo inferior. Esta também é uma característica apresentada pela tesoura 4, conforme apresentado pela reta em laranja na figura 10.

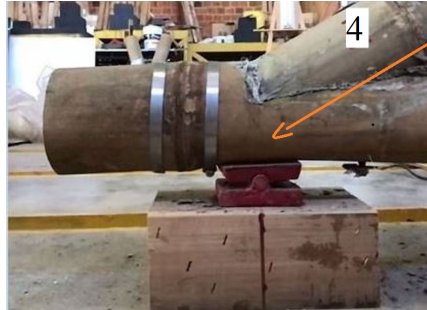


Figura 10: Alinhamento do banzo superior com o apoio. Fonte: autores.

As tesouras 5 e 6 apresentaram um importante esmagamento entre os banzos na região do apoio da tesoura, devido a um preenchimento mal executado do graute no interior do bambu. Esta situação provavelmente seria amenizada com a inserção de uma abraçadeira antes do encontro entre os dois banzos, conforme se pode observar nas fotos das figuras 11-A e 11-B.

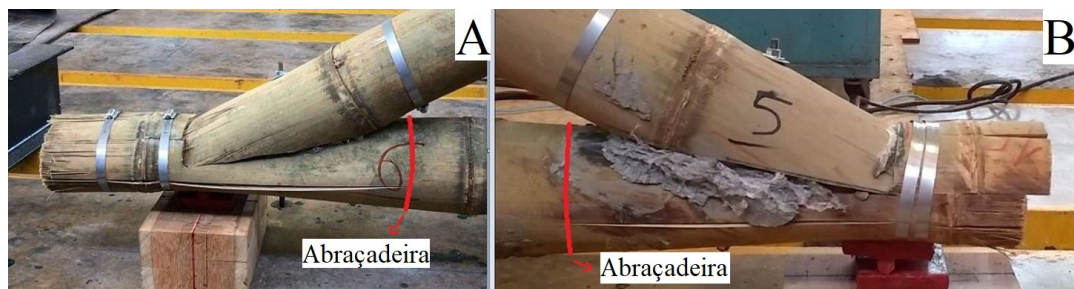


Figura 11: Proposta de inserção de uma quarta abraçadeira na região do apoio. Fonte: autores.

Com as técnicas construtivas analisadas anteriormente, é possível determinar as especificações de uma tesoura em bambu de máxima eficiência estrutural. Esta concepção está ilustrada na figura 12. As dimensões apresentadas são as da tesoura 4, pois foi a tesoura que mais se aproximou desta concepção. Estas medidas possibilitaram que os banzos superiores incidissem diretamente no graute dos apoios. Os três diafragmas de bambu que devem ser mantidos intactos, situados no banzo inferior, estão destacados em verde. As abraçadeiras estão destacadas em azul, sendo quatro por apoio e duas na região central do banzo inferior. Destaca-se também o alinhamento dos banzos superiores com os apoios de 1º e 2º gênero pelas retas em laranja.

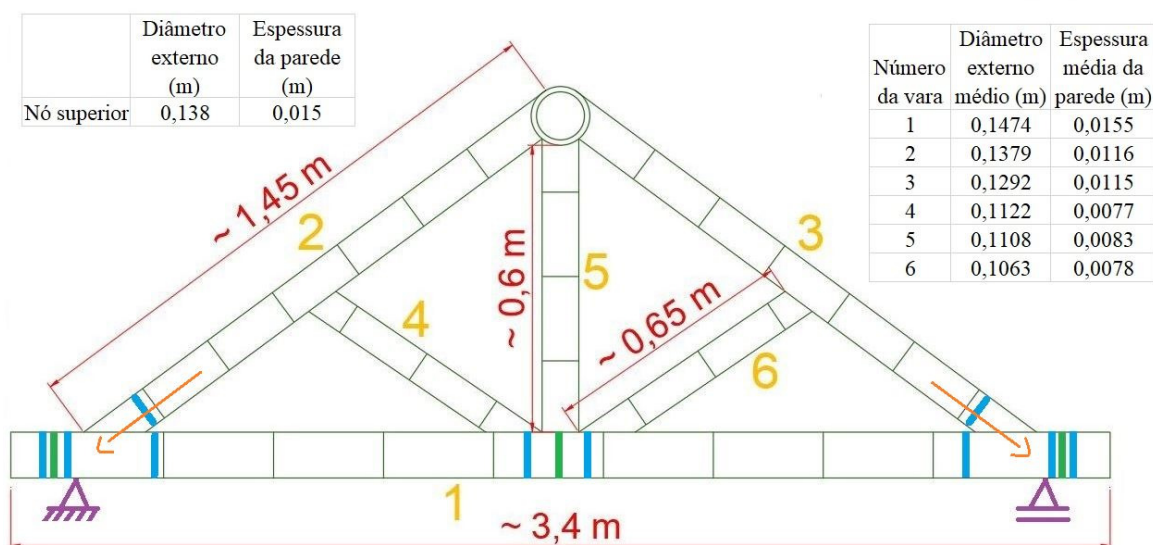


Figura 12: Concepção de uma tesoura em bambu de máxima eficiência estrutural. Fonte: autores.

4. Considerações Finais

É possível concluir através deste trabalho que as tesouras em bambu com apoios reforçados com graute e abraçadeiras de aço ou fitas metálicas podem absolutamente ser utilizadas na construção civil para a estrutura de telhados, devido aos excelentes resultados obtidos.

O conjunto graute-barras rosca, confinado pelo bambu e pelas abraçadeiras ou fitas metálicas foi o principal elemento de resistência mecânica dos apoios das tesouras em bambu, aprimorando consideravelmente o ponto débil deste tipo de estrutura.

Além disso, a técnica de ligações utilizando barras rosca se mostrou muito eficaz, pois são ligações de alta resistência e simples de serem executadas.

A técnica mais eficiente de reforço nos apoios das tesouras foi a de preenchimento de graute e uso de abraçadeiras de aço, pois as mesmas confinam os apoios de forma mais eficiente se comparado às fitas metálicas furadas.

A qualidade no preenchimento com graute do bambu nos apoios das tesouras é de suma importância, pois o conjunto graute-barras rosca, confinado pelas abraçadeiras ou fitas, contribui significativamente na melhoria da resistência mecânica das tesouras.

O encaixe entre os banzos das tesouras é mais eficiente quando o banzo superior incide diretamente no bambu com graute do banzo inferior, pois a resistência mecânica do graute é aproveitada ao máximo. Recomenda-se que o diâmetro externo do banzo superior seja menor que o banzo inferior, para facilitar o encaixe dos referidos elementos

Agradecimentos

Aos técnicos do Laboratório de Estruturas da UEL Luís Gustavo, Carlos e Reginaldo pela ajuda na preparação e realização dos ensaios das tesouras, e à colega Vitória Maria Gonçalves pela parceria durante a realização deste trabalho.

Referências

ACOSTA, Caio. C. V.; CARBONARI, Gilberto. Laje mista de bambu-concreto leve: Estudo teórico e experimental. In: V Encontro de Sustentabilidade em Projeto, 2017, Florianópolis. ENSUS 2017. Florianópolis: UFSC, 2017. v. 1.

BARBOSA, Diogo Rodrigo; CARBONARI, Gilberto. Estudo experimental de tesouras de bambu. In: V Encontro de Sustentabilidade em Projeto, 2017, Florianópolis. ENSUS 2017. Florianópolis: UFSC, 2017. v. 1. p. 1.

CARBONARI, Gilberto. Tratamento do Bambu com Tanino. 2013. (Brasil). Patente: Privilégio de Inovação. Número do registro: BR1020130207888, título: Tratamento do Bambu com Tanino. Instituição de registro: INPI Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

CARBONARI, Gilberto; DA SILVA JR, Nelson Matias; PEDROSA, Nicolas Henrique; ABE, Camila H.; SCHOLTZ, Marcos F.; ACOSTA, Caio. C. V.; CARBONARI, Luana T. . Propriedades Mecânicas de Várias Espécies de Bambu. In: XV EBRAMEM - Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, 2016, Curitiba. Anais do EBRAMEM-Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, 2016.

CARBONARI, Gilberto; DA SILVA JR, Nelson Matias; PEDROSA, Nicolas Henrique; ABE, Camila Hirome; SCHOLTZ, Marcos F.; ACOSTA, Caio. C. V.; CARBONARI, Luana T.. Bambu - O aço vegetal. Mix Sustentável, v. 3, p. 17-25, 2017.

GONÇALVES, Vitória Maria. Estudo teórico e experimental de tesouras de bambu. 2018. 118 páginas. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2018.

PINHEIRO, Roberta Russo F. K.; NUNES, Paula Maurício. Análise Morfológica do bambu *Dendrocalamus Giganteus*. In: XV Seminário de Iniciação Científica PUC-Rio, 15., 2007, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: PUC-Rio, 2007. p.1-7.

PRONI, Gustavo. Comportamento Mecânico-Experimental de Tesouras em Bambu. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Bacharelado em Engenharia Civil. Centro de Tecnologia e Urbanismo. Universidade Estadual de Londrina, 2018.

VASCONCELLOS, Raphael Moras de. Cartilha de Fabricação de Móveis de Bambu. 1.ed. Maceió: Instituto do Bambu, 2004.