



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
SERGIPE**

CAMPUS ARACAJU

DEPARTAMENTO DE DESENVOLVIMENTO DE ENSINO

COORDENADORIA DE ENGENHARIA CIVIL

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

LUCAS LO AMI SANTANA DE QUEIROZ

POTENCIAL DE USO DO BAMBU NA CONSTRUÇÃO CIVIL

ARACAJU-SE

NOVEMBRO/2014

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
SERGIPE
CAMPUS ARACAJU
DEPARTAMENTO DE DESENVOLVIMENTO DE ENSINO
COORDENADORIA DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

LUCAS LO AMI SANTANA DE QUEIROZ

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentada ao Departamento de
Engenharia Civil do Instituto Federal de
Sergipe como parte dos requisitos
necessários para a obtenção do grau de
bacharel em engenharia civil sob a
orientação do professor M.Sc Marcílio
Fabiano Goivinho da Silva.

**ARACAJU- SE
NOVEMBRO/2014**



Diretoria de Desenvolvimento de Ensino
Gerência de Ensino Superior
Coordenadoria de Engenharia Civil

TERMO DE APROVAÇÃO

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE
CAMPUS ARACAJU
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

MONOGRAFIA Nº 03

POTENCIAL DE USO DO BAMBU NA CONSTRUÇÃO CIVIL

LUCAS LO AMI SANTANA DE QUEIROZ

Esta monografia foi apresentada às 14 horas do dia seis de novembro de dois mil quatorze como requisito parcial para a obtenção do título de BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos examinadores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Carla Cristina Nascimento S. Pereira
Prof.^a Dr.^a Carla Cristina Nascimento Santos Pereira
(IFS – campus Aracaju)

Rodolfo Santos da Conceição
Prof.^a Msc. Rodolfo Santos da Conceição
(IFS – campus Aracaju)

Marcilio Fabiano Goivinho da Silva
Prof. Msc. Marcilio Fabiano Goivinho da Silva
Orientador

Marcilio Fabiano Goivinho da Silva
Prof. Msc. Marcilio Fabiano Goivinho da Silva
(IFS – Campus Aracaju)
Coordenador da COEC

Q3p Queiroz, Lucas Lo Ami Santana de.

Potencial de uso do bambu na Construção Civil / Lucas Lo Ami Santana de Queiroz. - Aracaju: IFS, 2015.

p. : il.

Incluir Bibliografia

1. Construção Civil. 2. Bambu – Possibilidades de uso. Propriedades físicas e mecânicas. Elemento de estruturas. Desempenho sustentável. Produção de Laminado Colado de Bambu-Laminated Bamboo Lumber(LBL). 3. Recursos renováveis – Menor impacto ambiental. 4. Processos químicos de tratamento. 5. Arquitetura. 6. Madeira. I. Título.

CDU: 624.011.72

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Campus Aracaju

“É melhor atirar-se em luta, em busca de dias melhores, do que permanecer estático como os pobres de espírito, que não lutaram, mas também não venceram. Que não conheceram a glória de ressurgir dos escombros. Esses pobres de espírito, ao final de sua jornada na Terra, não agradecem à Deus por terem vivido, mas desculpam-se diante dele, por simplesmente, haverem passado pela vida.”

Bob Marley

AGRADECIMENTOS

Agradeço muito o apoio da minha mãe Cícera Eugênia, a qual sem seu apoio não conseguiria estar vencendo mais esta batalha, minha tia Silene, esta teve o papel de substituir durante muito tempo o papel de minha mãe, e hoje a minha esposa Thaciana Vieira, que me apoia, me incentiva, obrigado a todos.

Ao professor e orientador Msc. Marcilio Fabiano Goivinho da Silva pela paciência, atenção, motivação, ajuda, e principalmente por ter me mostrado que consigo ir mais longe.

Agradeço a todos os professores que de alguma forma se envolveram com este trabalho, pela preocupação, dedicação e atenção, principalmente o prof. Dr. Carlos Henrique, prof. D.Sc. José Resende e a profa. D.Sc. Carla Cristina pelo, incentivo e tempo dedicado a mim e a este trabalho.

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma se envolveram e me ajudaram a chegar até esta conquista.

RESUMO

A utilização do bambu em diversos campos na área da construção civil vem crescendo de forma considerável, deixou de lado a ideia de ser somente material de países subdesenvolvidos, já que países desenvolvidos já o utilizam e enxergam uma variedade de possibilidade da aplicação do bambu como um material de construção. Neste trabalho serão analisados vários aspectos decorrentes do uso do bambu, tais como propriedades físicas e mecânicas do bambu, locais e métodos onde serão melhores aplicados na construção civil. O bambu mostrou ser um material com grande potencial comparando-o com materiais tradicionais usados na construção, além da promoção do desenvolvimento sustentável.

Palavras-chave: Bambu, Construção Civil, Desenvolvimento Sustentável.

ABSTRACT

The use of bamboo in various fields in the area of construction has increased significantly, put aside the idea of being underdeveloped countries only material, and yet developed countries are already using it and they see a variety of possibility of application of bamboo as a construction material. Various aspects arising from the use of bamboo as physical and mechanical properties of bamboo, locations and methods which are best applied in construction will be analyzed. Bamboo proved to be a material with great potential by comparing it with traditional materials used in construction, in addition to promoting sustainable development.

Keywords: Bamboo, Construction, Sustainable Development.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. CARACTERÍSTICAS DO BAMBU	7
3. PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DO BAMBU	14
3.1. COMPRESSÃO	15
3.2. TRAÇÃO	17
3.3. FLEXÃO	18
3.4. CISALHAMENTO E ESMAGAMENTO	20
3.5. COMPETITIVIDADE DO BAMBU	22
4. O USO DO BAMBU EM ELEMENTOS ESTRUTURAIS E LIGAÇÕES	23
4.1. O USO DO BAMBU – FUNDAÇÕES	25
4.2. TRATAMENTOS DOS COLMOS	27
4.3. CONEXÕES	29
4.3.1. BOCA DE PESCADO E VARIAÇÕES	30
4.3.2. CONEXÕES TIPO SIMON VELEZ	34
4.3.3. UNIÃO DE VARAS NO MESMO SENTIDO	38
4.3.5. UNIÃO POR TRESPASSE DE VARA	42
4.3.6. UNIÃO POR TRESPASSE DE VARA E EMBUCHAMENTO INTERNO	44
4.4. O USO DO BAMBU – PILARES	45
4.5. O USO DO BAMBU – VIGAS	47
4.6. O USO DO BAMBU – LAJES	48
4.6. CONSTRUÇÕES DE BAMBU PELO MUNDO	49
5. CONCLUSÃO	51
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Isopletas da velocidade básica V0 (m/s) Fonte: NBR 6123/1988	4
Figura 2 - Dinoderus minutus (Broca do bambu ou caruncho).Fonte: LIESE 1992.....	5
Figura 3 - Broca do bambu ou caruncho dentro do bambu. Fonte: LIESE 1992.....	5
Figura 4 - Touceira de Dendrocalamus giganteus Fonte: GHAVAMI, 1995	7
Figura 5 - Touceira de bambusa vulgares. Fonte: GHAVAMI, 1995.....	8
Figura 6 - Mata de Phyllostachys aurea sem manutenção. Fonte: GHAVAMI, 1995	8
Figura 7 - Mata de Phyllostachys heterocycla pubescens com manutenção. Fonte: GHAVAMI, 1995	9
Figura 8 - Corte de colmos de Dendrocalamus Giganteus, Bambusa Vulgares e Phyllostachys Aurea respectivamente nessa ordem. Fonte: GHAVAMI, 1995	10
Figura 9 - Parede do colmo de Phyllostachys heterocycla pubescens. Fonte: LIESSE, 1998.....	11
Figura 10 - Variação da fração volumétrica das fibras na espessura do colmo de Guadua Angustifolia. Fonte: LIESSE, 1998.	12
Figura 11 - Seção de bambu cortado ao meio. Fonte: LIESSE, 1998.....	12
Figura 12 - Distorção dos feixes fibrovasculares na região do nó.....	13
Figura 13 - Sistema de cargas distribuídas e pontuais em uma amostra de bambu. Fonte: BERALDO, 1987	19
Figura 14 - Corte feito no sentido das fibras com o uso de um facão e martelo. Fonte: Pereira (2001).....	20
Figura 15 - Impermeabilização da vara com saco plástico para ser enterrada. Fonte: Pereira (2001).....	24
Figura 16 - Base de concreto. Fonte: Pereira (2001).....	25
Figura 17 - Conjunto sapata/pilar. Fonte: Pereira (2001)	26
Figura 18 - Queimador de bambu. Fonte: Pereira (2001)	27
Figura 19 - Furo para injeção e Injeção da solução. Fonte: Pereira (2001)	28
Figura 20 - Diferentes cortes aplicados à técnica de construção com bambu. Fonte: Lopez, 1998.	30
Figura 21 - Sistema de conexão boca de pescado.....	31
Figura 22 - Porcas e arruelas. Fonte: Pereira (2001).....	31
Figura 23 - Boca de pescado reforçada. Fonte: Pereira (2001).....	32
Figura 24 - Corte ortogonal e Corte em 45°. Fonte: Pereira (2001)	33

Figura 25 - Variação de ângulos e cortes.	33
Figura 26 - Preenchimento dos entrenós com concreto. Fonte: Pereira (2001).....	34
Figura 27 - Conexão Simon Velez (SV) 45°. Fonte: Pereira (2001)	35
Figura 28 - Ruptura da conexão SV 45° devido à tração. Fonte: Pereira (2001).....	35
Figura 29 - Conexão Simon Velez (SV) 60°. Fonte: Pereira (2001)	35
Figura 30 - Ruptura da conexão SV 60° devido à tração. Fonte: Pereira (2001).....	36
Figura 31 - Conexão Simon Velez (SV) 90°. Fonte: Pereira (2001)	36
Figura 32 - Teste de compressão na Conexão SV 90°. Fonte: Pereira (2001)	37
Figura 33 - Ruptura da Conexão SV 90° por compressão. Fonte: Pereira (2001)	37
Figura 34 - Ruptura da Conexão SV 90° à tração. Fonte: Pereira (2001)	38
Figura 35 - Ruptura da Conexão SV 90° por compressão. Fonte: Pereira (2001)	38
Figura 36 - Escolha das varas. Fonte: Pereira (2001).....	39
Figura 37 - Corte seco (Perpendicular à vara). Fonte: Pereira (2001)	40
Figura 38 - Corte da peça interna. Fonte: Pereira (2001).....	40
Figura 39 - União entre varas. Fonte: Pereira (2001).....	41
Figura 40 - Distância adequada para o furo. Fonte: Pereira (2001).....	41
Figura 41 - Sistema porca, arruela de aço, arruela de PVC. Fonte: Pereira (2001)	42
Figura 42 - Uso de braçadeiras de aço evitando o aparecimento de fissuras. Fonte: Pereira (2001).....	42
Figura 43 - Trespasse entre varas. Fonte: Pereira (2001).....	43
Figura 44 - Sistema de furos na união por trespasse de varas. Fonte: Pereira (2001) ...	43
Figura 45 - Tamanho aconselhado e posicionamento da vara de união externa. Fonte: Pereira (2001).....	44
Figura 46 - Posicionamento das barras roscadas na União por trespasse e embuchamento interno. Fonte: Pereira (2001)	45
Figura 47 - Cimentando o pilar. Fonte: Pereira (2001).....	46
Figura 48 - Pilar reforçado por bambu, armação do pilar, instrumentação e pilar concretado. Fonte: (PUC-Rio – Certificado Digital nº 0210646/CA)	47
Figura 49 - Conjunto pilar/viga. Fonte: Ghavami (1995)	48
Figura 50 - Laje reforçada por bambu, forma de laje com reforço por metade da seção do bambu e concretagem da laje. Fonte: Ghavami (1995).....	48
Figura 51 - Recepção do Hotel do Frade & Golf Resort. Fonte: Google imagens	49
Figura 52 - Restaurante do Parque Natural Agropecuário da Costa Rica – PANACA. Fonte: Google imagens	49

Figura 53 - Fachada do estacionamento do zoológico municipal de Leipzig. Fonte: Google imagens.....	50
Figura 54 - Forro do Aeroporto Internacional de Barajas (Espanha). Fonte: Google imagens	50
Figura 55 - La Catedral Alterna Nuestra Señora de La Pobreza, de Simón Vélez, Colômbia. Fonte: Google imagens	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dimensões e massas de colmos de diversas espécies (valores médios).....	10
Tabela 2 - Razão entre tensão de tração e a massa específica de alguns Materiais Fonte: Tecnologias e materiais alternativos de construção (2003).	17
Tabela 3 - Resistência dos bambus à flexão Fonte: BERALDO, 1987.....	19
Tabela 4 - Resistência mecânica de algumas espécies de bambu.....	21
Tabela 5 - Características físicas e mecânicas de espécies de bambu.....	22
Tabela 6 - Ensaio de resistência mecânica. Fonte: Sartori (1998).....	22
Tabela 7 - Solução imunizante. Fonte: Lengen (1996).....	28

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Valores de resistência estrutural.	23
---	----

1. INTRODUÇÃO

O bambu possui alto potencial de utilização na construção civil devido ao seu desempenho sustentável, físico e mecânico. Ele pode ser cultivado em qualquer tipo de solo e com altitudes que variam do nível do mar até quatro mil metros. Fato, este, que possibilita geração de renda em comunidades carentes. Para atingir seu máximo desempenho, alguns cuidados devem ser tomados com a colheita, cura, secagem, tratamento, as dificuldades de aderência com outros materiais e de efetuar ligações.

A história desse material está entrelaçada com a história da China, aonde homem e bambu vêm juntos desde os tempos pré-históricos. A utilização do bambu na China varia da culinária (broto do bambu), artesanato, móveis, irrigação, contenção de encostas e inúmeras outras utilidades, até chegar à construção.

O bambu faz parte tanto da cultura, quanto da história. Em grandes invenções a nível mundial, o bambu foi utilizado como elemento principal ou parte fundamental em suas composições, sendo exemplos desses inventos pontes suspensas, cúpula dos templos, avião, motor a explosão, e grandes construções, onde o material foi usado tanto na arquitetura, como elemento estrutural.

Alberto Santos Dumont (1873 – 1932), brasileiro, nascido no estado de Minas Gerais, em 1906, conseguiu a maior, se não uma das maiores invenções já realizada, a criação do 14-Bis, um avião cuja estrutura era de bambu com juntas de alumínio.

Outros grandes nomes já utilizaram o bambu, Thomas A. Edison, utilizou filamentos carbonizados de bambu nas primeiras bobinas elétricas inventada pelo mesmo. Aproximadamente 200 mil metros quadrados de bambu cobrem e decoram o aeroporto de Madrid Barajas-T4, sendo composto por uma estrutura de aço e forro de bambu na fachada.

O Taj Mahal, uma das obras mais fantásticas do mundo teve a pouco tempo substituída sua estrutura milenar em bambu por uma em metal estruturada, o Taj Mahal teve sua cúpula feita com bambu.

Convenções internacionais como protocolo de Kyoto e agenda 21, têm como objetivo principal buscar por processos construtivos que causem um menor impacto, onde a utilização do bambu se encaixa perfeitamente como principal material na utilização desses processos construtivos.

Adentrando ao mundo da arquitetura e da construção civil, tanto por causa da beleza e da excelente qualidade estrutural, o bambu vem sendo mais procurado e

ganhando um destaque maior nos países do primeiro mundo, levando-se em conta que sua utilização em países subdesenvolvidos já existe com maior significância.

A relação resistência/peso faz com que o bambu tenha maior flexão do que a maioria dos materiais.

Dados de projetos populares já realizados obtiveram uma economia próxima a 30% em relação obras do mesmo padrão que foram realizadas de modo convencional. Além do baixo custo e da funcionalidade estrutural, o bambu é considerado um excepcional isolante acústico e térmico.

Comparando o bambu a outros tipos de madeiras, as vantagens são inúmeras, e consideráveis, tais como rápido crescimento, baixo custo e diversas outras, sendo para muitos estudiosos é considerado a madeira do século XXI.

Uma das maiores vantagens do bambu empregado na construção civil é promover a solução no que vem sendo um empecilho nas construções que é a corrosão que consiste na deterioração dos materiais pela ação química, pois o bambu tem a vantagem de não ser sujeito à corrosão ou ferrugem. Como este material não sofre alterações por causa de intempéries torna-se muito interessante a utilização deste como elemento estrutural, como por exemplo, a substituição do aço encontrado em pilares pelo bambu, sendo este a partir de então usado realmente como elemento estrutural.

Bambu é o nome que se dá às plantas da subfamília *Bambusoideae*, da família das gramíneas (*Poaceae* ou *Gramineae*). Essa subfamília se subdivide em duas tribos, a *Bambuseae* (os bambus chamados de lenhosos) e a *Olyrae* (os bambus chamados herbáceos). As opiniões variam muito e novas espécies e variedades são acrescentadas ano a ano, mas calcula-se que existam cerca de 1250 espécies no “mundo, espalhadas entre 90 gêneros, presentes de forma nativa em todos os continentes menos na Europa. Habitam uma alta gama de condições climáticas (zonas tropicais e temperadas) e topográficas (do nível do mar até acima de 4000m)” (WIKIPÉDIA, 2014).

É possível perceber que a construção civil atual passa por momentos de transição. As técnicas construtivas e as recuperações de patologias são cada vez mais demandadas e a cada dia surgem novos elementos construtivos para suprir a necessidade dos proprietários das obras e profissionais responsáveis. A sensação externa de segurança, a durabilidade e resistência são fatores determinantes na escolha do material a ser usado. O uso do concreto por sua alta resistência à compressão, o aço por ser muito resistente a tração e a madeira, elemento construtivo natural e também bastante eficiente aos esforços solicitantes em uma estrutura, dão o aspecto usual de uma obra desse tipo,

assim arquitetos conseguem produzir verdadeiras revoluções nos aspectos visuais de interação dos elementos. Elementos esses os quais a extração comprovadamente afeta de forma preocupante os locais de exploração, fazendo com que haja por parte da população mundial uma mudança de pensamento, juntamente com um maior interesse por recursos renováveis que possam integrar as possibilidades de escolha na hora de se projetar uma estrutura. Torna-se evidente que os materiais ecológicos satisfazem alguns requerimentos fundamentais, tais como: minimização do consumo de energia, conservação dos recursos naturais, redução da poluição e manutenção de um ambiente saudável (GHAVAMI, 2001).

O bambu - material sem muito valor econômico, social ou cultural em nossa sociedade - é em outros países motivo de orgulho e pesquisas por seu potencial em diversas e comprovadas áreas de atuação. O bambu não é poluente, não requer grande consumo de energia e oxigênio em seu processo de preparo; sua fonte é renovável e de baixo custo (RIPPER, 1994). Seu “caule”, que tem aparência cilíndrica e alongada, esconde características que poucas plantas possuem. Um sistema de feixes de fibras longitudinais que são praticamente paralelos da base ao topo dessa gramínea que chega a ter mais de 30 metros de altura, diâmetros de até 0,3 metros e suportam uma pressão de vento em sua copa que pode ter uma velocidade de até 50 m/s (Figura 1).

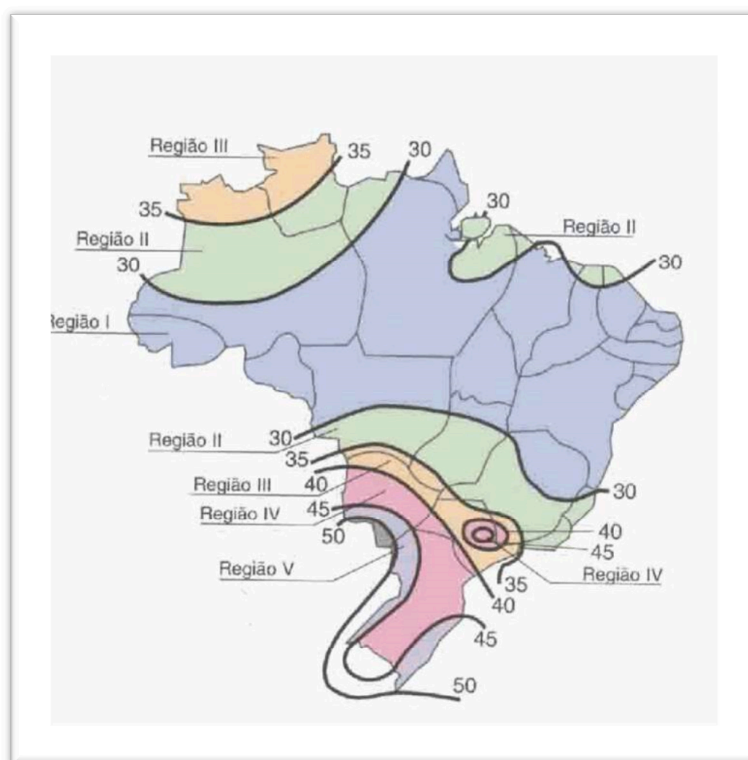


Figura 1 - Isopletas da velocidade básica V_0 (m/s) Fonte: NBR 6123/1988

Em estudos realizados sobre a microscopia do bambu, GHAVAMI & CULZONI (1987), LIESE (1992), AMADA (1998), GHAVAMI & RODRIGUES (2000) e GHAVAMI ET al. (2000) observaram que os feixes de fibras são mais concentrados à medida que se situam mais próximos da parte externa do seu caule, de forma que o bambu possa resistir às cargas de vento, que é a maior solicitação durante a vida desse material na natureza. Essa característica é chamada de “funcionalidade graduada”. Como as fibras de sustentação se situam nas partes mais externas, a concentração de amido existente no bambu está internamente preservada. Esse amido é uma das maiores preocupações em relação à durabilidade do bambu. A presença de substâncias que possam servir de alimento para insetos xilófagos, em especial ao *Dinoderus Minutos* (Figura 2 e 3), é extremamente prejudicial à correta determinação do tempo de durabilidade do material quando em uso em uma obra.

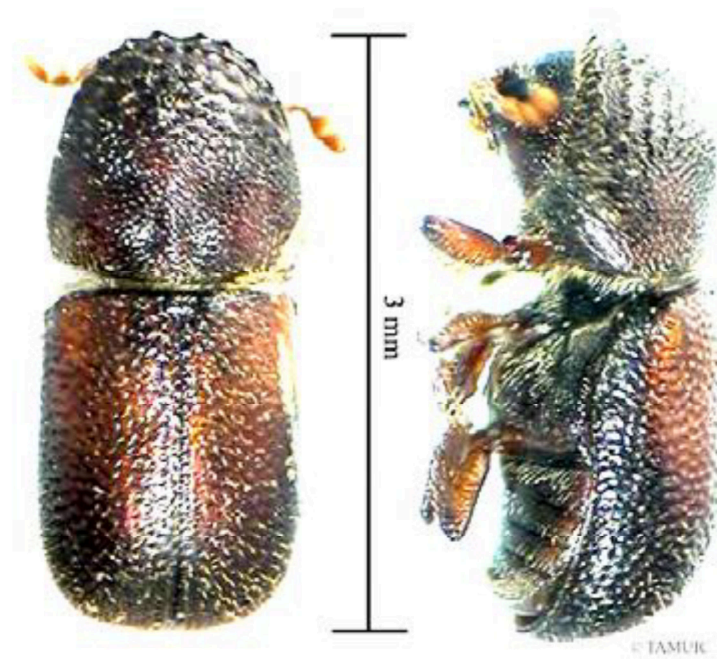


Figura 2 - *Dinoderus minutus* (Broca do bambu ou caruncho). Fonte: LIESE 1992



Figura 3 - Broca do bambu ou caruncho dentro do bambu. Fonte: LIESE 1992

De acordo com LIESE (1998), uma parte das células denominadas parênquimas possuem, como fonte de reserva, polímeros de amido, que se tornam um grande atrativo aos fungos e insetos xilófagos, após o corte. O tratamento químico do bambu é, portanto, fundamental para garantir sua durabilidade e vida útil prolongada.

O uso do bambu na construção civil é pequeno, mas seu potencial é imensurável ao se levar em conta a evolução de processos de tratamento, produção e estocagem para o bambu roliço (in natura) e a evolução da tecnologia para o processamento e produção do laminado colado de bambu- mais conhecido na China como LBL (Laminated Bamboo Lumber). Esse material pode ser utilizado na fabricação de painéis divisórios, forros, pisos, molduras, esquadrias, móveis e revestimento.

O uso do bambu na construção civil requer mão de obra especializada, apesar de o sistema construtivo ser bastante simples. Como qualquer outro material o bambu é bastante resistente a certos esforços e não tão resistente a outros. Por essa razão é necessário um estudo e acompanhamento de profissionais para a confecção de conexões e de posicionamento das varas para um adequado projeto estrutural. Algumas dessas técnicas serão abordadas no presente trabalho, demonstrando técnicas de conexões já existentes e suas funções nas estruturas. Vale salientar que o uso de conexões é praticamente ilimitado. Com a noção das forças atuantes no local da conexão e com um bom entendimento de como essas forças atuam sobre o bambu é possível o uso de conexões de várias formas e feitas de vários materiais de acordo com o gosto, disponibilidade e custo total da obra.

De acordo com BARBOSA e INO (1996), na Costa Rica a produção habitacional utilizando o bambu gira em torno de 1500 casas por ano, as quais apresentam desempenhos que atendem aos requisitos exigidos pela ONU para construção de unidades residenciais. As autoras salientaram, ainda, que embora a Costa Rica não possuísse espécies de bambu adequadas, e nem o costume de utilização do bambu em construção, implantou um programa habitacional voltado para o uso desse material.

2. CARACTERÍSTICAS DO BAMBU

O que diferencia o bambu, de imediato, de outros materiais vegetais estruturais é a sua alta produtividade. Dois anos e meio após ter brotado do solo, o bambu possui resistência mecânica estrutural elevada, não havendo, portanto, nesse aspecto, nenhum concorrente no reino vegetal.

Somam-se as características favoráveis uma forma tubular acabada, estruturalmente estável, uma baixa massa específica, uma geometria circular oca, otimizada em termos da razão resistência / massa do material. Os resultados dessas características implicam baixo custo de produção, facilidade de transporte e trabalhabilidade, as quais se reverterem em diminuição nos custos das construções (GHAVAMI, 1989,1992; MOREIRA e GHAVAMI, 1995). No Brasil algumas espécies de bambus são mais usadas na construção civil, entre elas podem ser citadas: Entoucerantes – Possuem crescimento radial. Crescem formando uma touceira, próximos um do outro.

- *Dendrocalamus giganteus* (bambu gigante)



Figura 4 - Touceira de *Dendrocalamus giganteus* Fonte: GHAVAMI, 1995

➤ Bambusa Vulgares

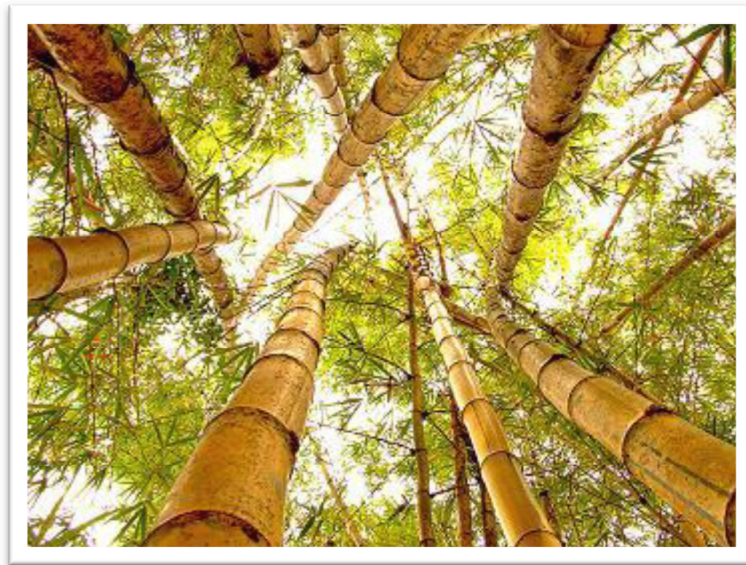


Figura 5 - Touceira de bambusa vulgares. Fonte: GHAVAMI, 1995

Alastrantes - Possuem crescimento descentralizado. Crescem de forma desordenada propagando-se continuamente para os lados.

➤ Phyllostachys áurea



Figura 6 - Mata de Phyllostachys aurea sem manutenção. Fonte: GHAVAMI, 1995

- *Phyllostachys heterocycla pubescens* (Mossô).



Figura 7 - Mata de *Phyllostachys heterocycla pubescens* com manutenção. Fonte: GHAVAMI, 1995

A diferença entre os diâmetros e tamanhos depende do tipo de cada bambu e da maturidade da vara. As propriedades mecânicas variam entre os diferentes tipos de bambu citados anteriormente. Desta forma a presença de um profissional qualificado é essencial para a escolha do bambu a ser usado.



Figura 8 - Corte de colmos de *Dendrocalamus Giganteus*, *Bambusa Vulgares* e *Phyllostachys Aurea* respectivamente nessa ordem. Fonte: GHAVAMI, 1995

Espécies	Colmo			
	Comprimento útil (m)	Diâmetro (cm)	Massa (kg)	Compr. internódios (cm)
<i>Bambusa vulgares</i>	10,70	8,10	12,50	32,00
<i>Bambusa vulgaris</i> var. <i>vittata</i>	9,30	7,20	10,30	34,00
<i>Bambusa oldhami</i>	9,90	6,90	8,40	41,00
<i>Bambusa nutans</i>	10,00	5,80	7,80	38,00
<i>Bambusa tulda</i>	11,90	6,60	11,90	49,00
<i>Bambusa beecheyana</i>	9,00	7,80	10,50	28,00
<i>Bambusa stenostachya</i>	15,10	8,20	17,50	35,00
<i>Bambusa tuldoidea</i>	9,20	4,30	3,80	46,00
<i>Bambusa textilis</i>	8,10	4,80	3,30	44,00
<i>Bambusa ventricosa</i>	9,30	4,80	4,50	44,00
<i>Bambusa maligensis</i>	7,40	4,30	3,50	28,00
<i>Bambusa dissimulata</i>	9,50	4,60	5,20	41,00
<i>Dendrocalamus asper</i>	14,50	12,20	61,30	34,00
<i>Dendrocalamus latiflorus</i>	11,50	11,50	40,70	37,00
<i>Dendrocalamus strictus</i>	10,50	7,60	15,00	38,00
<i>Dendrocalamus Giganteus</i>	16,00	14,20	84,50	34,00
<i>Ochlandra travancorica</i>	11,30	9,40	26,00	40,00
<i>Phyllostachys edulis</i>	4,40	3,60	2,10	15,00

Tabela 1 - Dimensões e massas de colmos de diversas espécies (valores médios)

Fonte: SALGADO et al., 1994.

O crescimento do bambu é diferente das madeiras convencionais, seu crescimento é feito no sentido do solo para o topo e as partes mais próximas do terreno são as mais antigas possuindo propriedades mais vantajosas quanto à resistência e durabilidade. O sistema de fibras de sustentação do bambu é composto por feixes dispostos na mesma direção longitudinal, quase que paralelos, sofrendo uma mudança de posicionamento, porém, junto ao nó. As fibras que vinham paralelas se misturam e fazem do nó um local de maior concentração de fibras em diversos sentidos, tendo o mesmo uma maior resistência a compressão e impedindo que haja separação das fibras longitudinais nos entrenós. Os nós exercem uma amarração transversal e proporcionam maior rigidez ao colmo de bambu (LOPEZ, 1974). O bambu possui uma resistência a flexão alta podendo quando “verde” entortar até certo limite e não fissurar ou romper.

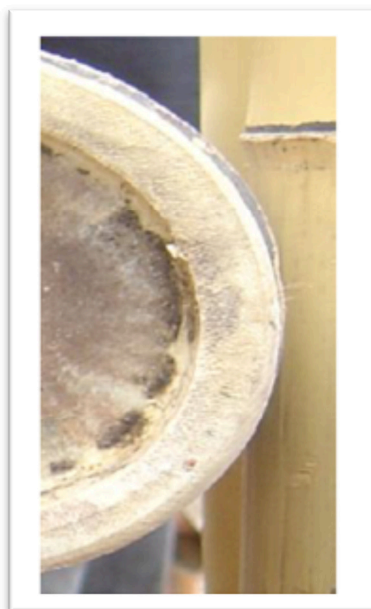


Figura 9 - Parede do colmo de *Phyllostachys heterocycla pubescens*.

Fonte: LIESSE, 1998.

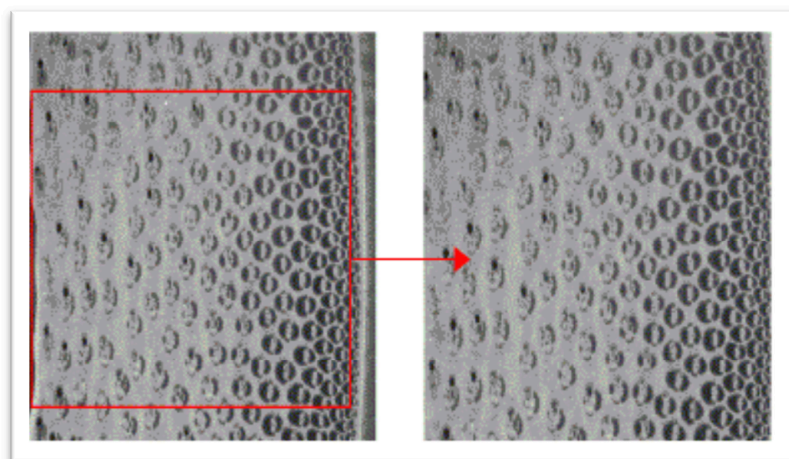


Figura 10 - Variação da fração volumétrica das fibras na espessura do colmo de *Guadua Angustifolia*. Fonte: LIESSE, 1998.

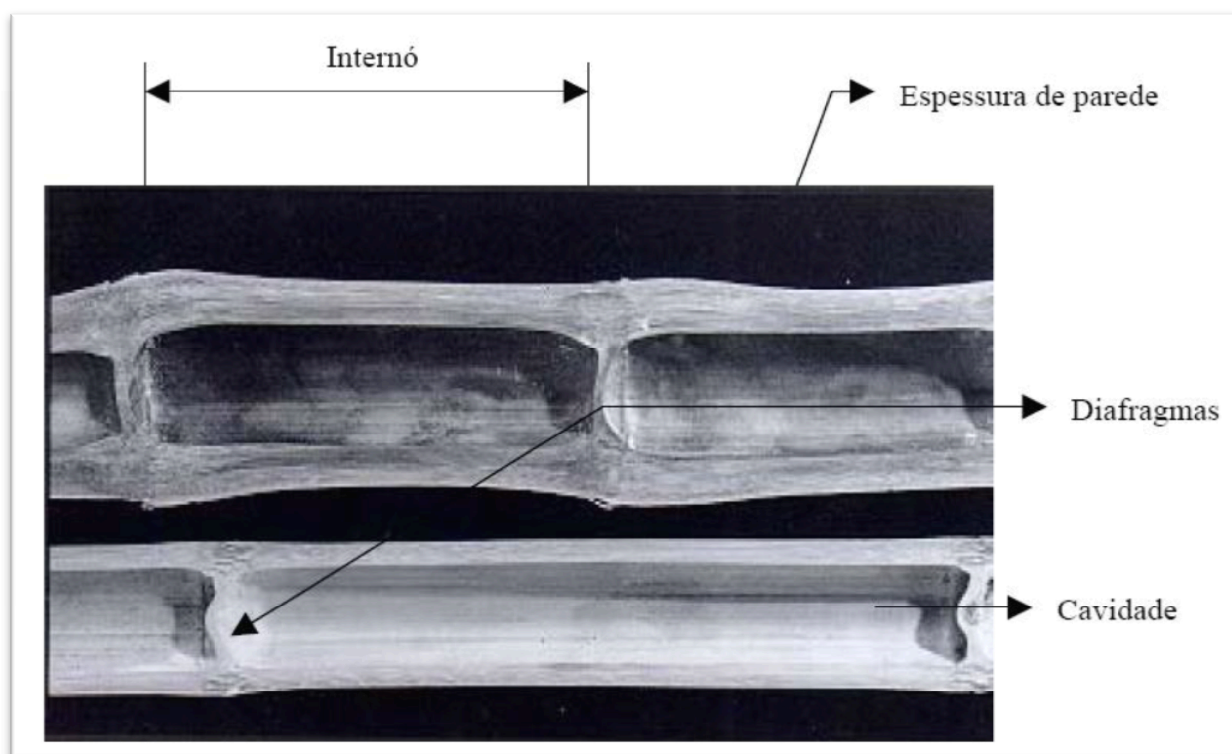


Figura 11 - Seção de bambu cortado ao meio. Fonte: LIESSE, 1998.

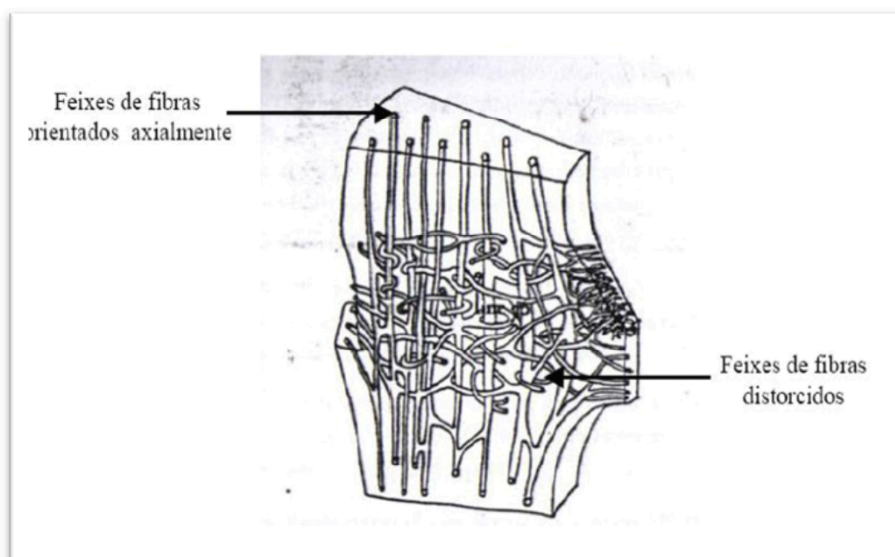


Figura 12 - Distorção dos feixes fibrovasculares na região do nó.

Fonte: LIESSE, 1998.

Baseado nos resultados obtidos nas pesquisas sobre bambu, durante as duas últimas décadas em várias partes do mundo, incluindo o Brasil, foi possível criar as primeiras normas para tal utilização. Sabendo que o conhecimento das normas é importante não apenas para o uso seguro, mas também para a divulgação de um material, o International Network for Bamboo and Rattan INBAR (1999) usou os resultados dessas pesquisas mundiais e propôs normas para a determinação das propriedades físicas e mecânicas dos bambus. As normas propostas foram analisadas pelo ICBO- International Conference of Building Officials e publicadas no relatório *AC 162: Acceptance Criteria for Structural Bamboo*, em março de 2000 (ICBO, 2000), as quais permitem a aplicação do bambu na construção, nos Estados Unidos da América (GAVAMI, 2003).

Para a seleção adequada das varas têm-se que se seguir alguns critérios como: colmos eretos e diretos, varas esbeltas com diâmetro variável de 5 a 25 cm, espessura superior a 1 cm, gomos curtos, varas maduras depois de cortadas deixadas 2 semanas verticalmente na mata para reduzir a quantidade de amido.

3. PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DO BAMBU

As características mecânicas do bambu são influenciáveis principalmente pelos seguintes fatores: espécie, idade, tipo de solo, condições climáticas, época da colheita, teor de umidade das amostras, localização destas com respeito ao comprimento do colmo, presença ou ausência de nós nas amostras testadas e o tipo de teste realizado. O ótimo desempenho estrutural dos bambus quanto à compressão, torção, flexão e, sobretudo quanto à tração é conferido pela sua volumetria tubular e pelos arranjos longitudinais de suas fibras que formam feixes de micro tubos (GHAVAMI, 1989).

Os resultados revelaram que, mesmo para a mesma espécie de bambu, ocorre uma alta variação na sua resistência, quando comparada ao aço. A alta dispersão de resultados é uma vantagem quando são consideradas cargas dinâmicas, como em terremotos e ciclones. Essa vantagem pode ser melhor visualizada em curvas de Distribuição Normal de Gauss(DNG) para o aço e bambu, quando se consideram a tensão de trabalho ou carga última. No caso do aço em que o desvio padrão da DNG é pequeno, qualquer erro no projeto ou na construção leva a um rápido colapso na estrutura, tendo em vista que os conhecimentos sobre esse material são ainda limitados. Acontece ao contrário à DNG no caso de bambu, para o qual o desvio padrão é maior. Além disso, o bambu usado em estruturas pode absorver alta energia e é muito seguro quando usado em zonas sujeitas a abalos sísmicos (JANSSEN, apud SCHNIEWIND, 1989).

A maior dificuldade do estudo das características mecânicas do bambu refere-se à sua forma geométrica peculiar, que nem sempre permite que se possam adotar diretamente as normas utilizadas no ensaio de madeiras. Os colmos de bambus apresentam, geralmente, uma comodidade importante, que impede a obtenção de corpos-de-prova homogêneos escolhidos de um mesmo colmo, podendo, também, desempenhar um papel importante no resultado dos ensaios. Lopez (1974), Liese, Sekar Rawat, apud Sanyial *et al.* (1988), destacaram a importância de haver uma normatização nos ensaios de bambus. Os resultados obtidos dependem fortemente de vários parâmetros inerentes a cada espécie, tais como a razão entre suas dimensões características, a amostragem, a procedência e, sobretudo, a idade do colmo.

O bambu só terá sua resistência atingida após o período de maturidade (ou sazonalidade), e terá sua resistência máxima atingida entre três e seis anos de idade. O teor de umidade no colmo do bambu influenciará diretamente as propriedades físicas e

mecânicas. Um alto teor de umidade poderá provocar no bambu fissuras ou rachaduras quando seco. Por isso aconselha-se a escolha dos colmos em épocas de menor pluviosidade, pois se sabe que nessa época os solos estão secos e a atividade de líquidos dentro do colmo é menor.

Liese (1987) observou que as resistências à compressão e à tração do bambu são maiores durante seis anos, enquanto que amostras com idade superior a oito anos apresentam uma resistência mais elevada a flexão. Liese (1987) destacou a importância de se correlacionar a resistência mecânica do bambu com sua anatomia. O módulo de elasticidade (MOE) e a tensão ou módulo de ruptura (MOR) são fortemente correlacionados com o comprimento das fibras. A distribuição dos feixes vasculares de uma forma mais homogênea, por sua vez, favorece o fendilhamento do colmo. Por possuir todas as fibras no mesmo sentido, o uso do bambu a solicitações de tração e compressão são bastante usadas em estruturas com esse material.

3.1. COMPRESSÃO

O ensaio de amostras de bambu é normalmente feito com o uso de um pedaço da vara. Nesse caso, a ausência ou a presença de certa quantidade de nós na região considerada colmo e a posição e a distância entre os mesmos ao longo do colmo podem influir significativamente nos resultados (BERALDO, 2003).

Os colmos de bambus de maior diâmetro permitem a obtenção de pequenas amostras usinadas, o que torna os ensaios mais precisos, por evitar os prováveis deslizamentos entre o corpo-de-prova e os pratos de máquinas de ensaios, sobretudo nos casos em que a altura seja considerável. No caso do ensaio direto de alguns colmos, pode ser atingida uma carga da ordem de 20 t a 40 t, que, além de ultrapassar a capacidade de algumas máquinas de ensaio, necessita de condições particulares de segurança (BERALDO, 2003).

A resistência média dos corpos-de-prova cilíndricos é sempre superior àquela obtida utilizando-se corpos-de-prova que tenham sofrido modificações geométricas. Evidencia-se, dessa forma, a importância da presença de nós para o enrijecimento do colmo.

A determinação do módulo de elasticidade do bambu em compressão também apresenta certas dificuldades. A deformação do corpo-de-prova é variável, dependendo se o sensor utilizado para medir a deformação (extensômetro) se encontra próximo da

camada externa do colmo ou próximo de um nó. A camada externa deforma-se menos do que a camada interna, devido à diferença na distribuição dos elementos anatômicos. O módulo de elasticidade obtido nas camadas pode, desse modo, apresentar um valor duas a três vezes superiores a média da espécie (BERALDO, 2003).

Datta, apud Lopez (1974), foi um dos primeiros a estudar a resistência do bambu. Para corpos-de-prova de 30 cm de altura e 3 cm de diâmetro, o autor encontrou uma tensão de ruptura de 80 Mpa e um módulo de elasticidade em torno de 20 Gpa . Em consequência, conclui que o bambu poderia reforçar adequadamente o concreto em obras secundárias. A curva tensão-deformação no ensaio de compressão é quase linear. A resistência à compressão situa-se na faixa de 20 Mpa a 120MPa, e o módulo de elasticidade varia entre 2,6 GPa e 20 GPa.

Beraldo (1987) estudou o comportamento em compressão de algumas espécies de bambus. Para *Phyllostachys sp* de diâmetro externo 43 mm e diâmetro interno igual a 34 mm, o autor obteve uma resistência à compressão de 55 MPa; corpos-de prova paralelepípedicos de *Dendrocalamus giganteus* apresentaram 93 MPa, enquanto que os de *Phyllostachys purpurata*, de diâmetro igual a 22mm e diâmetro interno de 10mm, e distância ente dois nós a 120 mm, apresentaram uma valor médio de 65 MPa. Para essa espécie observou-se que corpos-de-prova dispendo de três nós apresentavam uma resistência à compressão 10% superior àquelas dispendo de dois nós.

De acordo com Janssen, apud Schniewind (1989), o bambu, a exemplo da madeira, apresentou uma dependência estreita entre propriedades mecânicas e massa específica. A resistência à compressão (em MPa) pode ser estimada como igual ao produto da massa específica(em Kg/m³) por um fator 0,094. O autor destacou que o valor da resistência depende fortemente da proporção de fibras existentes no corpo-de-prova.

Desta forma ao receber uma carga de compressão o bambu tende a ter uma maior flambagem lateral quanto maior for seu comprimento. Logo o uso de peças de travamento diminui o momento exercido sobre a peça e trava a mesma a deslocamentos laterais.

Pode-se afirmar que o bambu suporta muito bem a instabilidade lateral, na verdade dentro das secções possíveis a cilíndrica tubular é a melhor, por possuir maior momento de inércia.

3.2. TRAÇÃO

As antigas pontes pênses asiáticas foram construídas com tecidos trançados provenientes das camadas externas de colmos de bambus. Tais pontes tornaram-se exemplos de uma combinação de leveza e excelente resistência mecânica à tração. A grande longevidade das pontes deveu-se à ausência de tecidos provenientes das camadas internas do colmo, os quais, conforme relatado anteriormente apresenta maior concentração de substâncias atrativas aos insetos (LOPEZ, 1989).

Teoricamente, a resistência de tecidos da região externa do bambu, submetido à tração paralela, pode atingir valores da ordem de 260 MPa (ONU, 1972). A resistência à tração é de 2,5 a 3,5 vezes aquela obtida em ensaios de compressão (SCHNIEWIND, 1989).

A resistência à tração do bambu é elevada e, em algumas espécies, pode atingir até 370 MPa. Isso torna atrativo o uso do bambu como um substituto para o aço, especialmente quando for considerada a razão entre sua resistência à tração e sua massa específica, conforme mostrado na Tabela 2.1. Pode ser notado que a razão entre a resistência à tração do bambu e sua massa específica (s/g) é, mais do que 2,34 vezes aquela obtida para o aço CA 50 kgf/mm². Em geral, a resistência à tração do bambu, com ou sem nó, situa-se entre 40 MPa e 215 MPa, e o seu módulo de elasticidade varia entre 5,5 GPa e 18 GPa.

TIPO DE MATERIAL	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO	PESO ESPECÍFICO γ (N/mm ³ x10 ²)	$R=\sigma/\gamma \times 10^2$	R/Raço
AÇO CA 50	500	7,83	0,64	1,00
ALUMÍNIO	300	2,79	1,07	1,67
FERRO FUNDIDO	280	7,70	0,39	0,61
BAMBU	120	0,8	1,5	2,34

Tabela 2 - Razão entre tensão de tração e a massa específica de alguns Materiais Fonte: Tecnologias e materiais alternativos de construção (2003).

3.3. FLEXÃO

As espécies que apresentarem maior diâmetro (e maior distância entre os nós) permitem a confecção de corpos-de-prova semelhantes aos das madeiras. No entanto, enquanto que, no caso das madeiras, se deve adotar uma posição adequada no corpo-de-prova, considerando a disposição dos raios (paralelos ou perpendiculares ao carregamento), para o bambu, um cuidado semelhante deve ser tomado em relação à disposição da camada externa do colmo (casca).

A maior concentração de feixes de fibras nessa camada indica, provavelmente, que o corpo-de-prova apresentará maior resistência se a camada externa (casca) estiver abaixo da linha neutra, na região onde o corpo-de-prova se encontra submetido à tração. No entanto, ensaios de flexão estática (vão de 150 mm) realizados sobre corpos-de-prova de *Dendrocalamus giganteus* apresentaram resultados contraditórios à essa suposição, porém concordantes com o relatório da ONU (1972). Pôde ser observado também o efeito da baixa resistência das camadas superiores na região de compressão, o que induzia à ruptura prematura do corpo-de-prova (Beraldo, 1994). Apesar de realizar numerosos ensaios com a espécie *Guadua angustifolia*, Lopes (1974) não conseguiu confirmar o possível papel desempenhado pela posição da camada externa durante o ensaio de flexão, denotando não haver uma influência significativa desse fator nos resultados obtidos.

O comportamento à flexão do bambu, como um todo ou de seus segmentos, é muito importante na análise estrutural e vários trabalhos experimentais estão sendo desenvolvidos para estabelecer esse tipo de resistência. Em geral, os resultados observados na literatura disponível situam a resistência do bambu à flexão entre 30 MPa e 170 MPa. Essa variação se deve não apenas à sua própria resistência à flexão, mas também pode ser causada pelo tipo de teste de flexão e pelo tamanho da amostra usada na execução destes testes. O módulo de elasticidade dos colmos de bambus estudados na flexão, usando segmentos de bambu, variou entre 6 Gpa e 14 Gpa, e sua resistência à flexão variou de 57 MPa a 133 MPa (BERALDO, 2003).

No caso de se utilizar bambus de pequeno diâmetro, pode-se, teoricamente, calcular os resultados supondo-se que os corpos-de-prova sejam tubos de paredes finas e homogêneas. No entanto, os colmos de bambu apresentam espessuras variáveis significativamente diferentes nas vizinhanças dos nós. Nessa região ocorre um aumento na espessura da parede, além de mudanças na direção dos feixes de fibras.

As diferentes espécies, ou amostras recolhidas de um mesmo colmo, apresentam diferenças nas distâncias entre nós consecutivos, ou no número de nós existentes na região do colmo situada entre os apoios. Desse modo, torna-se extremamente difícil a comparação dos resultados apresentados na Tabela 2.2 (BERALDO, 1987). Observa-se, no entanto, que o módulo de elasticidade é da ordem daquele observado em madeiras de boa resistência.

NOME BOTÂNICO	LIMITE ELÁSTICO (MPA)	TENSÃO DE RUPTURA (MPA)	MOE (GPA)
B. TULDOIDES	95	153	20
B. VULGARIS	48	106	8
B. V. VITTATA	40	75	5
D. GIGANTEUS	86	151	12
B. V. VITTATA	42	69	8

Tabela 3 - Resistência dos bambus à flexão Fonte: BERALDO, 1987

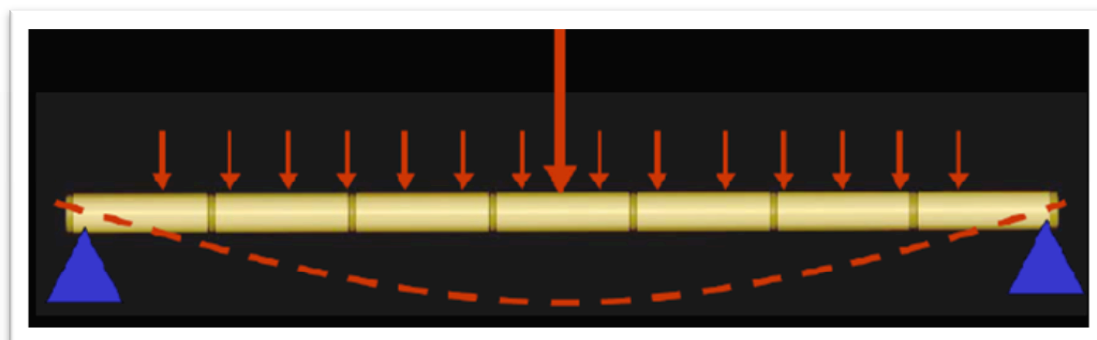


Figura 13 - Sistema de cargas distribuídas e pontuais em uma amostra de bambu.

Fonte: BERALDO, 1987

O bambu tem alta resistência mecânica à flexão, o detalhe surge nos apoios e uniões que por vezes não aguentam a pressão exercida estilhaçando o bambu. Pode-se assim melhorar o seu comportamento reforçando uniões e área de apoio reduzindo a deformação causada pelas forças de compressão.

3.4. CISALHAMENTO E ESMAGAMENTO

A força de cisalhamento no bambu é paralela ao sentido das fibras. Esse é o ponto fraco do bambu, os menores valores obtidos em testes de laboratório para resistência são para cisalhamento. Isto se deve ao fato das fibras serem unidas umas as outras unicamente por elementos naturais colantes e o descolamento das fibras serem iniciados com baixos valores de tensões.

O aparecimento de fissuras, que surgem por forças de cisalhamento, pode ser um problema sério em estruturas de bambu. Além de surgirem preocupações quanto à queda de resistência da estrutura, o aparecimento de fissuras também serve de local de entrada de água e penetração de insetos que podem diminuir sua vida útil do bambu.

É possível dividir um bambu perfeitamente ao meio usando apenas um facão e um martelo, colocando o facão paralelo as fibras e aplicando golpes nele com o martelo, as fibras se separam sem muito esforço (Figura 14). Este é um conceito importante, pois facilita muito a confecção algumas conexões que precisam de corte paralelo as fibras.



Figura 14 - Corte feito no sentido das fibras com o uso de um facão e martelo. Fonte: Pereira (2001)

Em geral, quanto maior o teor de umidade do bambu, bem menor será sua resistência ao cisalhamento. A resistência ao cisalhamento perpendicular às fibras do bambu situa-se em torno de 30% de sua resistência à flexão, ou seja, em torno de 32 MPa (variação entre 20 MPa e 65 MPa).

A resistência ao cisalhamento longitudinal às fibras é de, aproximadamente, 15% de sua resistência à compressão, ou seja, em torno de 6 MPa, com variação de 4 MPa a 10MPa (BERALDO, 2003). Um sistema de secagem mais adequado, que faça com que a perda de umidade no bambu seja feita de forma controlada pode aumentar os valores de cisalhamento e impedir que a peça fissure facilmente.

Tração (MPa)	Compressão (MPa)	Flexão (MPa)	Cisalhamento (MPa)	Espécie
135	40	108	46	<i>Dendrocalamus.</i>
285	28	89	6,6	<i>D.asper</i>
	63			<i>D. strictus</i>
103	27	75	56	<i>Bambusa. multiplex</i>
111	34	93	54	<i>B.tuldoides</i>
82	27	78	41	<i>B. vulgaris</i>
317	28	90	8,5	<i>B.vulgaris</i>
149	46	124	41	<i>B.vulgaris Schrad</i>
	45			<i>B.balcoa</i>
297	34	76	9,5	<i>B.arundinacea</i>
130	42	102	48	<i>Guadua superba</i>
237	29	82	8,0	<i>G. verticillata</i>
120	42			<i>Phyllostachys.</i>
296	30	84	7,2	<i>Gigantochoa apus</i>

Tabela 4 - Resistência mecânica de algumas espécies de bambu.

Fonte: Pereira (2001)

Na tabela 4 pode-se observar que o bambu atinge níveis de resistência à tração de 317 MPa (3.170 kgf/cm²), superior as mais resistentes madeiras comerciais como a *Tacoma eximia* ou Ipê amarelo que atinge 2.190 kgf/cm² segundo Moliterno (1999) e próximo ao concreto mais resistente que suporta 3.600 kgf/cm² de tração.

Outros ensaios foram levados a efeito por pesquisadores brasileiros em investigações científicas com o bambu. Abaixo resultados de duas pesquisas efetuadas

pelos professores engenheiros Edson Sartori da UNIDERP - MS e Lima Junior, da Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Espécie	Resistência Compressão (MPa)	R. Tração (MPa)	R Flexão (MPa)	Elasticidade à tração (GPa)	Intemós [m]	Diâmetro [m]	Espessura [m] 10 ⁻²
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	77	115	152	11	0,55 - 0,65	0,12 - 0,14	1,0 - 1,2
<i>Bambusa vulgaris</i>	65	115	131	9	0,35 - 0,45	0,07 - 0,08	0,6 - 0,8

Tabela 5 - Características físicas e mecânicas de espécies de bambu.

Fonte: Lima (1995).

Espécie	Nome comum	Resistência a tração (Kgf/cm ²)	Resistência A compressão (Kgf/cm ²)	Resistência Aflexão (Kgf/cm ²)
<i>Bambusa vulgaris vitata</i>	Bambu imperial	1.288,00	389,00	1.105,00
<i>Bambusa vulgaris</i>	Taquara	1690,00	516,00	1.360,00
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	Bambu gigante	1.381,00	648,00	1.251,00

Tabela 6 - Ensaio de resistência mecânica. Fonte: Sartori (1998).

3.5. COMPETITIVIDADE DO BAMBU

Numa sucinta comparação entre bambu, madeira, aço e betão armado (Concreto armado) pode-se aferir que o bambu se comporta com grande eficiência, obtendo os valores mais moderados. No gráfico de esforços **1** pode-se concluir que o esforço limite do aço tem uma variação pequena nos seus valores médios que lhe permite um cálculo exato, quanto a bambu e madeira como são materiais naturais não permitem uma exatidão entre os valores admissíveis e os valores limites, no primeiro gráfico, o betão armado (ou concreto armado) encontra-se numa situação intermédia. No nível de economias sem dúvida, dada a potencialidade de exploração de uma vara da planta de bambu em todas as suas variantes comerciais, resulta ser um material económico e de elevada competitividade relativamente aos seus principais concorrentes.

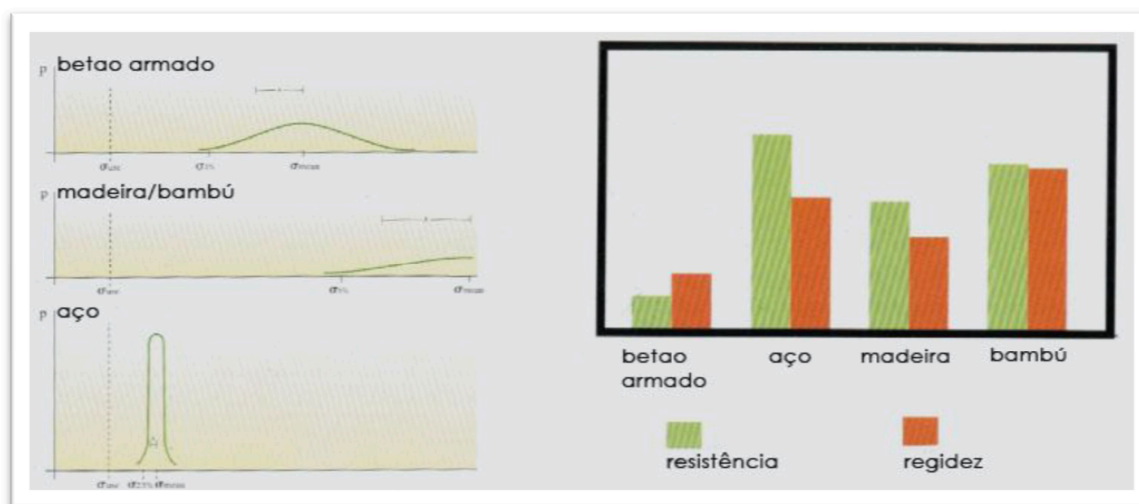


Gráfico 1 - Valores de resistência estrutural.

4. O USO DO BAMBU EM ELEMENTOS ESTRUTURAIS E LIGAÇÕES

A variação na espessura da parede do bambu e a distância entre nós interferem nos valores finais obtidos para resistências, porém esses valores não interferem muito no resultado final já que o valor do fator de segurança usado em cálculo estrutural de bambu é em torno de 4, ou seja a carga para qual a estrutura é projetada equivale a quatro vezes a carga real de solicitação de projeto. Esse valor pode ser considerado muito alto já que o fator de segurança para obras convencionais não ultrapassa 1,5.

A maioria das conexões entre varas de bambu não atingem rigidez muito alta o que faz com que a conexão possa ser considerada rotulada. Como a estrutura não possui rigidez suficiente é necessário o uso de elementos como tesouras e triangulamento de varas para travamento da mesma. Estes elementos aumentam significativamente os valores de resistência final da estrutura.

A qualidade das estruturas de bambu na construção civil é diretamente proporcional ao uso de técnicas construtivas destinadas a este material. Algumas são básicas, porém muito importantes, o bambu deve sempre manter uma distância do solo, a fim de se evitar o contato direto das peças com a umidade do terreno, que pode causar o aparecimento de fungos, aumentar a umidade interna e diminuir a resistência do material.

Uma distância comprovadamente segura seria em torno de 50 cm de elevação, podendo serem usados vários tipos de apoios como base de concreto (Figura 15), conexões de aço ou até mesmo garrafas pets preenchidas de concreto. Há também a possibilidade da impermeabilização do pavimento ou da vara de bambu, porém tais

técnicas são mais proveitosas mantendo distância da umidade do solo. O uso de parte do bambu enterrado só é sugerido para estruturas rurais que não sejam feitas para durar muito tempo ou suportar uma carga muito elevada.



Figura 15 - Impermeabilização da vara com saco plástico para ser enterrada. Fonte: Pereira (2001)



Figura 16 - Base de concreto. Fonte: Pereira (2001)

4.1. O USO DO BAMBU – FUNDAÇÕES

Fundações de construções feitas a bambu são realizadas de modo convencional, de concreto armado, o interessante é que após a fundação, pilares, vigas e lajes pode se utilizar o bambu na sua composição.

Colocando o bambu diretamente com o terreno as ascensões capilares vão desproteger o bambu e permitir o ataque de insetos e fungos, que poderão destruir o bambu num curto período, entre 6 meses a 2 anos. Uma base de pedra, cimento, metal, tijolo é opção certa.

A ligação das varas com a fundação pode ser feita de várias maneiras, a mais usada e o preenchimento do colmo com concreto, feito através de uma abertura circular

acima do nível de massa a ser usado. Para uma interação ideal entre vara e fundação deve-se usar uma barra de ferro chumbada pelo menos a 30 cm na fundação e 30 cm dentro da vara. Sempre observando a aderência entre a barra de ferro e o concreto.

O arquiteto Ricardo Nunes, na construção feita a bambu verificou que o cálculo estrutural apresentou cargas em torno de 420 kgf sobre cada sapata, enquanto que, um cálculo comparativo para a mesma edificação com materiais convencionais, apresentou cargas de 3.320,00 kgf por pilar. Verificou-se nesta construção uma redução de oito vezes das cargas suportadas pelas sapatas, o que reduziu em 60% as dimensões das fundações, representando uma economia de 8% no custo total da obra. A forma tubular oca do bambu, que lhe imprime grande resistência mecânica e leveza, apresentou-se aqui como uma propriedade de grande importância para a sua qualificação como material para construção.

A sapata que deverá ser tratada com aditivos impermeabilizantes tem também a função de isolar os pilares feitos de bambu da umidade do solo, protegendo assim o bambu da proliferação de fungos e bactérias que podem causar o seu apodrecimento nesse ponto de contato.



Figura 17 - Conjunto sapata/pilar. Fonte: Pereira (2001)

4.2. TRATAMENTOS DOS COLMOS

Os métodos adotados para a preservação do bambu neste caso foram: a cura pelo fogo e o tratamento por injeção. Esses são métodos menos produtores de efluentes líquidos, sendo, portanto, os menos poluentes. Apesar da baixa toxicidade das soluções utilizadas na preservação do bambu, os sais e ácidos de suas composições, em grandes quantidades provocam impactos ambientais indesejáveis em áreas frágeis.

A cura pelo fogo é um método utilizado para a redução dos teores de umidade, amido e açúcares dos colmos do bambu, proporcionando maior resistência natural ao ataque de insetos e uniformidade na coloração das peças.

Tradicionalmente os colmos são submetidos ao fogo sobre uma fonte de calor onde se usa mais comumente o carvão, aí as peças são giradas manualmente, num processo artesanal que demanda muita atenção, tempo e cuidado.

Para tornar mais uniforme e ágil o processo de queima das grandes peças, o arquiteto Ricardo Nunes e sua equipe desenvolveram um queimador circular de cobre, alimentado com GLP (gás liquefeito de petróleo ou gás de cozinha) que mostrou grande desempenho no método da cura pelo fogo. As peças que seriam utilizadas na estrutura foram queimadas, para receberem, em seguida, a solução preservante.



Figura 18 - Queimador de bambu. Fonte: Pereira (2001)

Para o tratamento interno dos colmos, foi utilizada a fórmula de Lengen (1997) cuja composição apresenta-se a seguir:

Sulfo de cobre	1 kg
Ácido bórico	3 kg
Bórax	5 kg
Água	100 l

Tabela 7 - Solução imunizante. Fonte: Lengen (1996).

Para facilitar a aplicação do produto e aumentar a produção com redução da energia de trabalho, é interessante se ter uma seringa para injeção, principalmente por evitar o contato manual com os produtos químicos utilizados.



Figura 19 - Furo para injeção e Injeção da solução. Fonte: Pereira (2001)

O bambu, de um modo geral, apresenta baixa resistência ao ataque de insetos. Desse modo, logo após o corte, uma das técnicas de Beraldo os colmos foram submersos em água, por sete dias para, através do processo de fermentação, conseguir-se a eliminação parcial do amido, o qual é o principal alvo do ataque de carunchos (*Dinoderus minutus*). Após esse período, os colmos da espécie de *D. giganteus*, muito utilizado em forma de pilares, foram submetidos a um tratamento químico. Os colmos devem ser colocados em tambores na posição vertical, por um período de sete dias, após o qual devem ser invertidos, para melhor absorver a solução preservativa, por um igual

período de tempo. Após o tratamento os colmos deve-se deixar secar à sombra, por um período em torno de 30 dias.

4.3. CONEXÕES

As conexões entre elementos horizontais e verticais são as mais utilizadas na construção ligando pilares e vigas para realizar tetos e pisos. As inclinadas entre elementos verticais e horizontais são usados nas coberturas e reforço de fundações. Já as espaciais permitem realização de estruturas complexas onde vários bambus se encontram numa só conexão e as conexões entre elementos horizontais proporcionam reforço de momento fletor quando se pretende vãos de dimensões grandes. Neste caso particular existem considerações de corte para uniões de elementos de bambu que embora sejam de fraca resistência como peças isoladas podem ser solução em pequenas construções com poucos recursos de material.

No caso de prolongamento de vigas deve ser manejado com dupla, tripla ou mais varas desencontradas de modo a evitarmos momentos de flexão incisivos nas separações entre colmos.

O bambu pode receber um corte de modo a haver conexão perfeita entre as varas, agindo assim como ponto conectivo o contato entre elas. Esse tipo de conexão, apesar de ser resistente, não oferece muita credibilidade e duração às estruturas feitas, além de não usar este material da forma mais adequada, pois alguns encaixes desse tipo tendem a cisalhar o mesmo.

Contudo com o passar do tempo, aumento de pesquisas nesta área e conhecimento acerca das propriedades do bambu, foram criados novas conexões que são as mais usadas para as estruturas atuais. É necessário enfatizar que as conexões podem ser feitas dos mais diversos tipos e materiais, o importante é saber como as forças estão atuando e se a resistência é adequada.

Os cortes devem ser efetuados nas proximidades dos nós, que são zonas mais resistentes. O corte em boca de pescada é o mais eficiente quanto à distribuição de forças uniformes sobre a secção do bambu. Dada à capa de sílica que existe na extremidade, as ferramentas que usadas terão um forte desgaste, podendo em alguns casos aquecer demasiado. Igual acontece em caso de perfuração quer seja material industrial quer manual. A viabilidade de uso manual é possível no caso do bambu

mesmo em grandes estruturas, dada à rapidez de corte e perfuração sendo largamente usado em comunidades rurais.

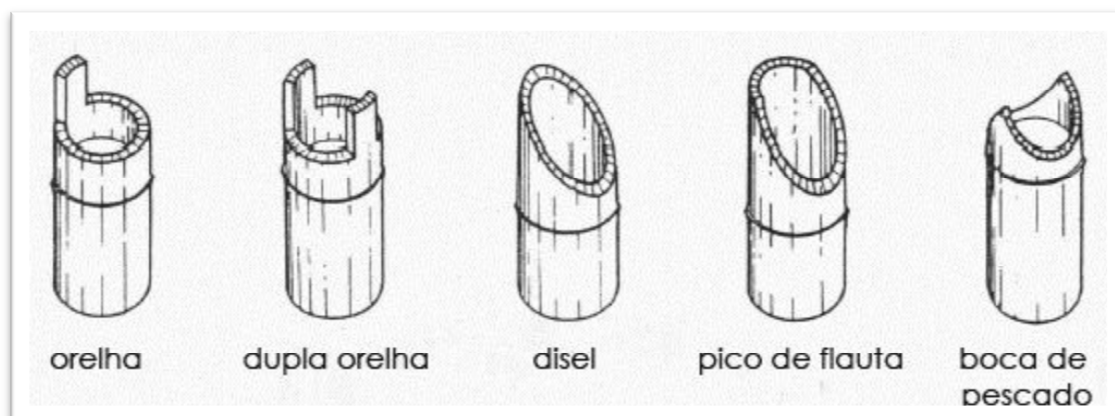


Figura 20 - Diferentes cortes aplicados à técnica de construção com bambu. Fonte: Lopez, 1998.

4.3.1. BOCA DE PESCADO E VARIAÇÕES

Essa conexão é uma das mais usadas, possuindo diversas modificações. Com o uso de uma serra copo do mesmo diâmetro da vara que vai receber a conexão é feito um corte por toda a extensão da vara, fazendo um encaixe em forma de boca de peixe. É muito importante que o corte seja feito de forma a encaixar adequadamente na outra vara a fim de se evitar o cisalhamento no local de apoio entre as peças.

Apoiando de forma correta as duas varas de bambu, tem-se um apoio seguro entre as peças, porém as mesmas ainda estão soltas. Necessitando de uma ligação segura contra momentos aplicados neste ponto e contra força de empuxo causada pelo vento, que é fator importante em obras de bambu devido ao seu baixo peso próprio.

Esta ligação é feita com o uso de barras roscadas, porcas e arruelas de metal. O uso de arruelas de PVC é muito indicado em conexões de bambu, pois aumenta a área de contato e diminuiu a tensão de pressão feita com o aperto da porca sobre o bambu, diminuindo o aparecimento de fissuras por excesso de aperto.

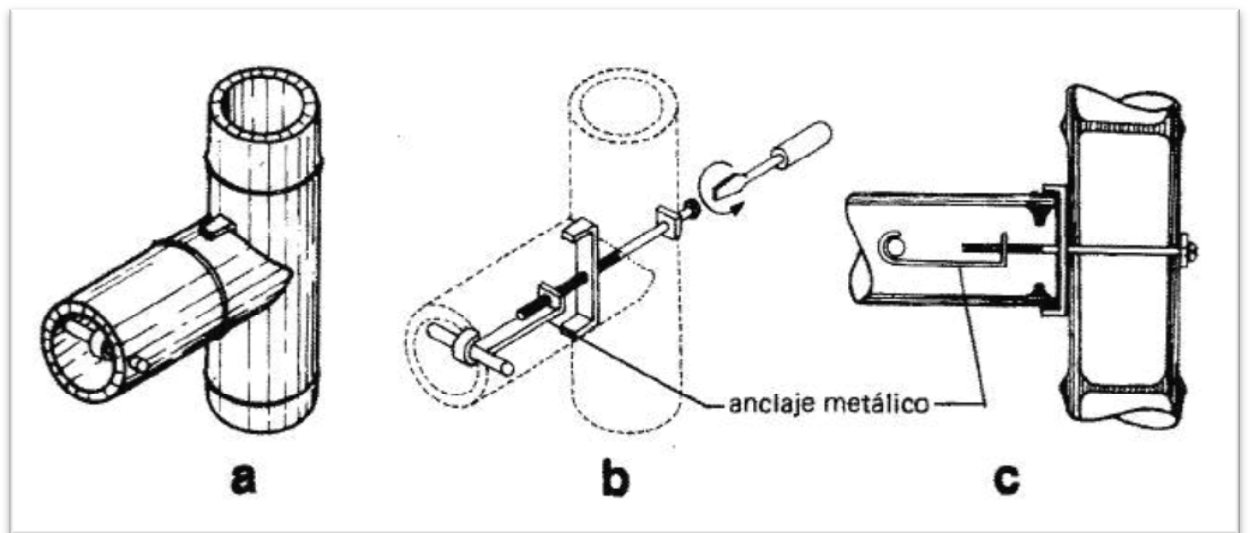


Figura 21 - Sistema de conexão boca de pescado.

Fonte: Lopez, 1998.



Figura 22 - Porcas e arruelas. Fonte: Pereira (2001)



Figura 23 - Boca de pescado reforçada. Fonte: Pereira (2001)

No sistema apresentado na figura 21 a conexão usada é feita por encomenda, porém é possível o uso de um único pedaço de barra roscada, que pode ser entortado em forma de “anzol”. O uso de uma única barra roscada é menos resistente, já que ao entortar a mesma seu estado de tensões é afetado. A técnica de boca de pescada é muito usada em estruturas de bambu pelo fato de poder ser alterada de acordo com a necessidade da conexão. Pode haver mudança do ângulo de encaixe entre as varas, sendo necessário para isso um corte diferenciado que é feito da mesma forma, com o uso de uma serra copo. Na hora de fazer o corte o operador da serra-copo pode fazer um ângulo entre a mesma e a vara de bambu, ângulo entre 0° e 90°, afim de que haja um formato adequado de encaixe entre as varas. Pode ser usada uma serra tico-tico para acabamentos finais com a finalidade de melhorar a área de contato entre as peças.



Figura 24 - Corte ortogonal e Corte em 45°. Fonte: Pereira (2001)

O ângulo de corte varia de acordo a inclinação das peças que serão usadas, a figura 26 apresenta alguns desses ângulos juntamente com algumas outras formas de conexão entre as varas.

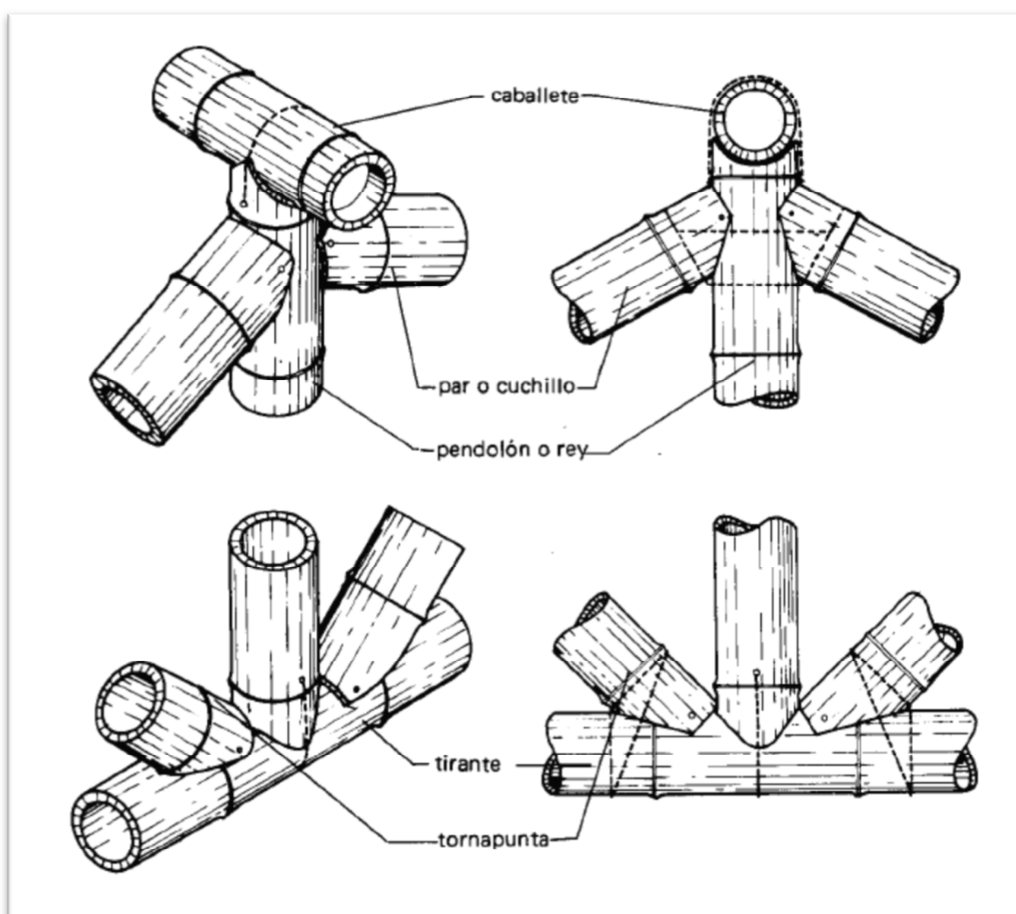


Figura 25 - Variação de ângulos e cortes.

Fonte: Lopez, 1998.

Para uma maior rigidez e maior segurança contra forças de esmagamento nas conexões, os entrenós podem ser preenchidos com concreto ou algum outro material que aumente a resistência do local.

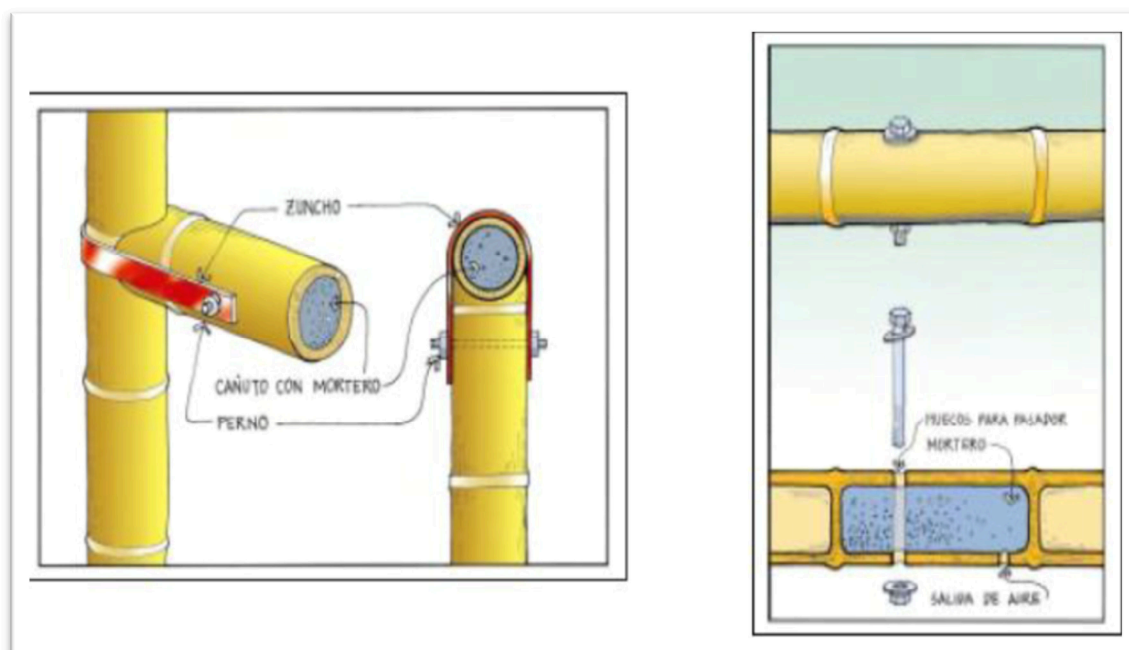


Figura 26 - Preenchimento dos entrenós com concreto. Fonte: Pereira (2001)

4.3.2. CONEXÕES TIPO SIMON VELEZ

Algumas das maiores obras de bambu no mundo são projetadas pelo arquiteto colombiano Simon Velez. O uso de concreto para preenchimento dos colmos em que as ferragens e os esforços mais atuantes se encontram é uma característica das obras desse arquiteto. As figuras 27 a 35 apresentam algumas das conexões usadas por ele e testadas por estudantes colombianos em testes de ruptura por carga (Estudio de uniones em Guadua com ângulo de inclinación entre elementos, 2003).

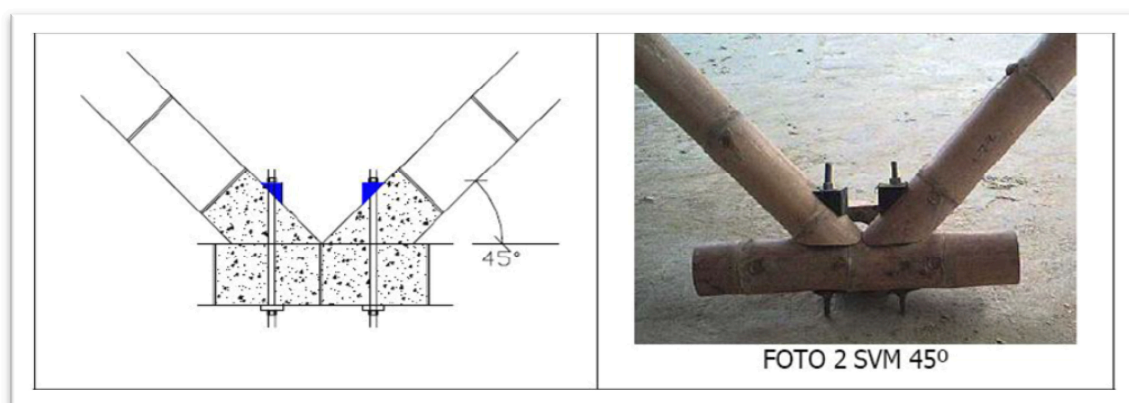


Figura 27 - Conexão Simon Velez (SV) 45°. Fonte: Pereira (2001)



Figura 28 - Ruptura da conexão SV 45° devido à tração. Fonte: Pereira (2001)

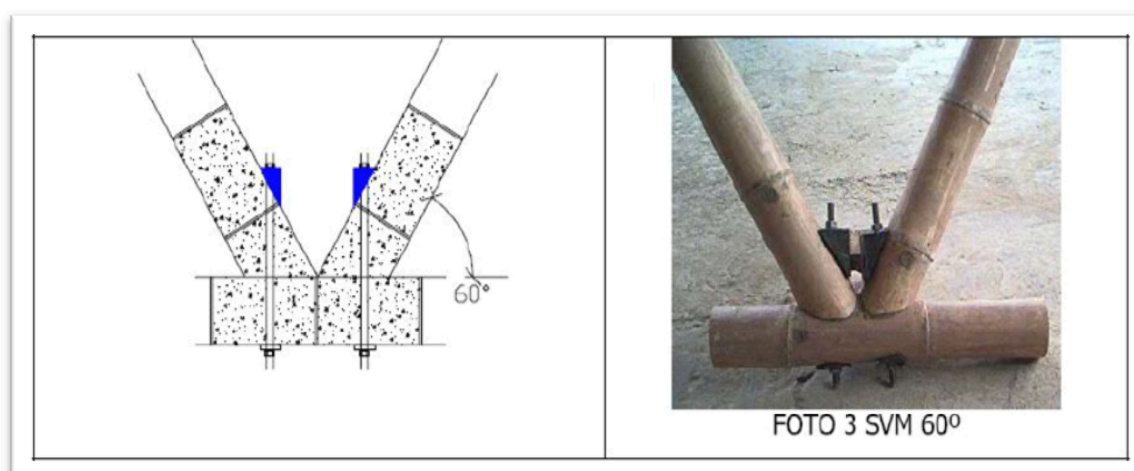


Figura 29 - Conexão Simon Velez (SV) 60°. Fonte: Pereira (2001)



Figura 30 - Ruptura da conexão SV 60° devido à tração. Fonte: Pereira (2001)

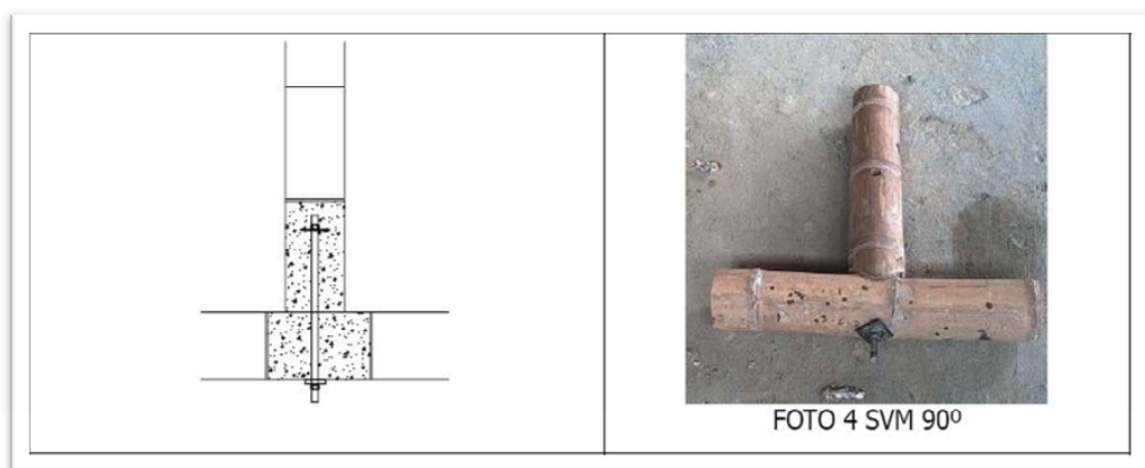


Figura 31 - Conexão Simon Velez (SV) 90°. Fonte: Pereira (2001)



Figura 32 - Teste de compressão na Conexão SV 90°. Fonte: Pereira (2001)



Figura 33 - Ruptura da Conexão SV 90° por compressão. Fonte: Pereira (2001)



Figura 34 - Ruptura da Conexão SV 90° à tração. Fonte: Pereira (2001)



Figura 35 - Ruptura da Conexão SV 90° por compressão. Fonte: Pereira (2001)

4.3.3. UNIÃO DE VARAS NO MESMO SENTIDO

Em alguns projetos estruturais existem peças que possuem um tamanho relativamente grande. Apesar de algumas varas de bambu chegar a ter mais de 30 metros de altura existem características que dificultam o uso de uma única vara:

- Dificuldade de transporte de peças muito longas;

- Perda das características mecânicas entre o topo e a base;
- Diferença do diâmetro entre o topo e a base;
- Aparecimento de ramos na ponta da vara;

A solução mais adequada é juntar pedaços de diferentes varas com as características necessárias e uni-las formando uma única vara. Há diferentes formas de fazer a união das varas. Serão citados três tipos;

- União com embuchamento interno;
- União por trespasses de vara;
- União por trespasses e embuchamento interno;

4.3.4. UNIÃO COM EMBUCHAMENTO INTERNO

A união é feita entre duas varas com o uso de um elemento conectivo feito com um pedaço de uma terceira vara. A seguir serão mostrados os passos a serem seguidos.

1. Buscar varas que possuam as características necessárias para implantação, tais como tamanho de parede, peso próprio, resistência aparente e diâmetro das varas, que deve ser semelhante (figura 36).



Figura 36 - Escolha das varas. Fonte: Pereira (2001)

2. Deve-se fazer o corte “seco” com o uso de uma cegueta o mais longe possível do ultimo nó da vara, imediatamente antes do nó seguinte (Figura 37).

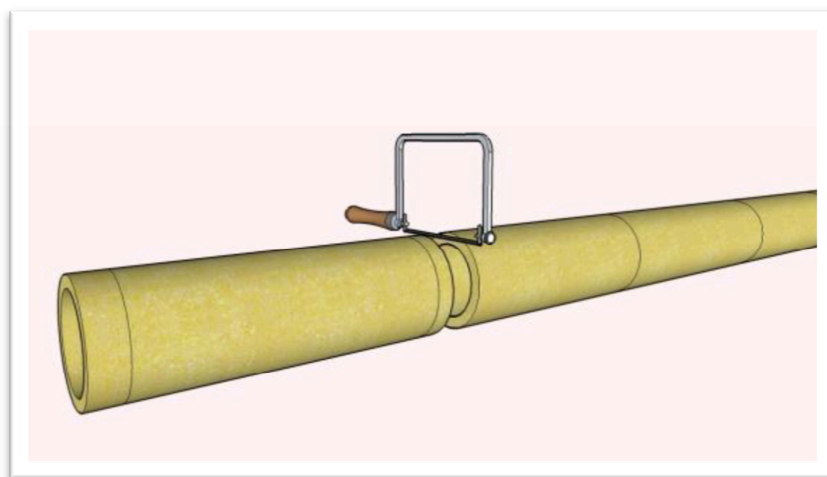


Figura 37 - Corte seco (Perpendicular à vara). Fonte: Pereira (2001)

3. A vara que fará a união entre as outras duas deve possuir diâmetro semelhante ao diâmetro interno das varas que serão unidas. Deve-se cortar o pedaço de união com o mesmo tamanho do espaçamento entre os nós das duas varas que receberam o corte seco, fazendo com que o nó central da vara se situe o mais centralizado possível na junção (Figura 38 e 39).



Figura 38 - Corte da peça interna. Fonte: Pereira (2001)



Figura 39 - União entre varas. Fonte: Pereira (2001)

4. Com o auxílio de uma máquina de furar, deve usar um broca com tamanho suficiente para fazer um furo perpendicular ao comprimento das varas de forma que as duas paredes sejam perfuradas. O local mais adequado para o furo seria $1/3$, mais próximo ao nó, da distância do entrenó (Figura 40).

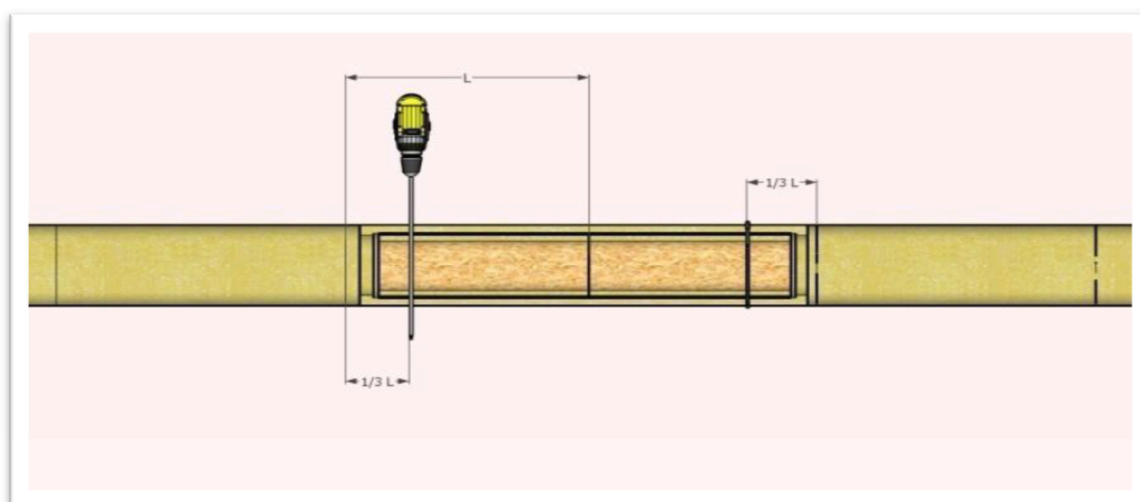


Figura 40 - Distância adequada para o furo. Fonte: Pereira (2001)

5. Após o furo ser feito deve ser usado um pedaço de barra rosca, que deve ser colocado dentro do furo, usando uma porca, uma arruela de aço e uma arruela de PVC, nessa mesma ordem no sentido do bambu, é dado uma certa pressão de ambos os lados até que a porca fique firme à barra rosca, proporcionando uma pressão no bambu que deve ser observada. Se a pressão for muito grande o bambu pode rachar (Figura 41).



Figura 41 - Sistema porca, arruela de aço, arruela de PVC. Fonte: Pereira (2001)

6. Como o corte seco foi feito imediatamente antes do ultimo nó as pontas das varas que foram unidas estão sujeitas a fissuras por descolamento das fibras. Nesse caso o mais indicado seria o uso de braçadeiras de aço e torno da vara, servindo para manter o sistema de tensões em forma circular (Figura 42).



Figura 42 - Uso de braçadeiras de aço evitando o aparecimento de fissuras. Fonte: Pereira (2001)

4.3.5. UNIÃO POR TRESPASSE DE VARA

Essa união é feita sem o uso de um terceiro elemento conectivo entre as duas varas a serem unidas. A seguir estão detalhadas as etapas de união.

1. Buscar varas que possuam as características necessárias para implantação, tais como tamanho de parede, peso próprio, resistência aparente e diâmetro das varas, que deve ser semelhante.
2. As varas devem ser cortadas com o tamanho especificado em projeto acrescido do tamanho “L” que haverá de trespassar entre as varas. Como as varas serão unidas uma

por cima da outra o diâmetro total da união entre as varas será a soma dos dois diâmetros. Por essa razão deve-se observar se esse tipo ligação não irá atrapalhar no projeto estrutural ou na estética do projeto (Figura 43).

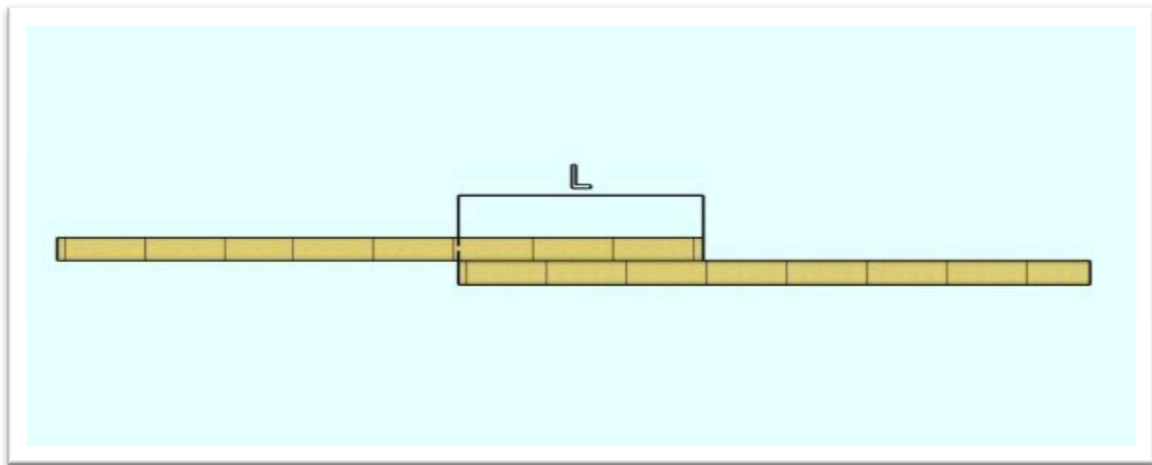


Figura 43 - Trespasse entre varas. Fonte: Pereira (2001)

3. As varas devem ser unidas da mesma forma da união com embuchamento interno. Com o auxílio de uma furadeira deve-se fazer no mínimo dois furos que passem pelas duas varas. Usando um pedaço de barra rosca, porcas e arruelas deve-se unir as duas varas (figura 44).

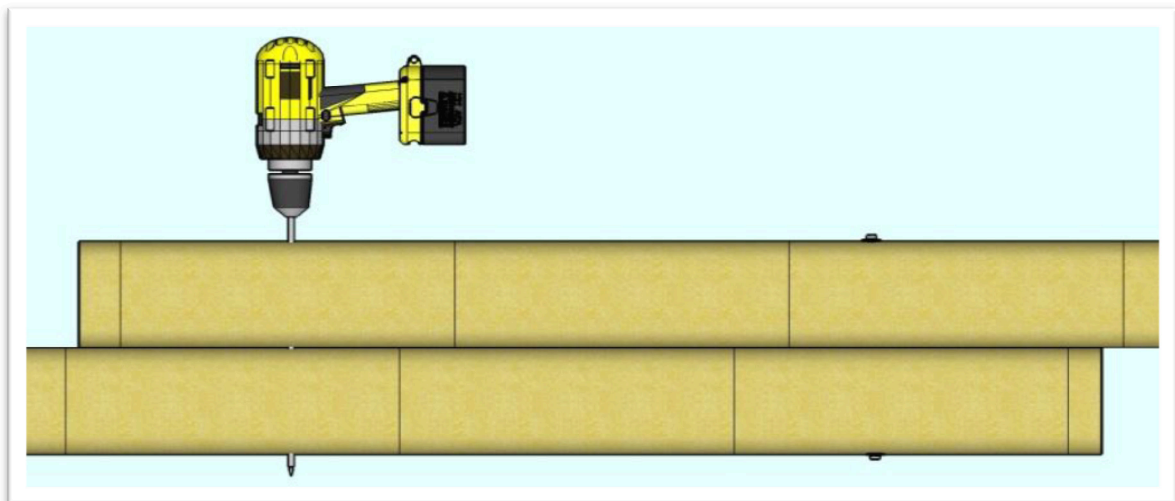


Figura 44 - Sistema de furos na união por trespasse de varas. Fonte: Pereira (2001)

4. O uso de uma braçadeira de aço entre as pontas que sofreram corte seco e o local onde se encontra a ligação com a barra rosca é aconselhado, pois dificulta o aparecimento de fissuras causadas por descolamento de fibras.

4.3.6. UNIÃO POR TRESPASSE DE VARA E EMBUCHAMENTO INTERNO

Essa união é feita com o uso de elementos conectivos. Um internamente com o mesmo sistema do embuchamento interno e outro elemento externo às varas que serão unidas. A seguir estão detalhadas as etapas de união:

1. Buscar varas que possuam as características necessárias para implantação, tais como tamanho de parede, peso próprio, resistência aparente e diâmetro das varas, que deve ser semelhante.
2. O sistema conectivo que usa o elemento interno é feito da mesma forma que o da União com embuchamento interno. Contudo não são usadas as barras roscadas por enquanto.
3. Com as duas peças que serão unidas já posicionadas e embuchadas internamente, é usado um pedaço de vara com comprimento mínimo que trespasse $1/3$ de cada vara que será unida para união externa entre as varas (Figura 45).

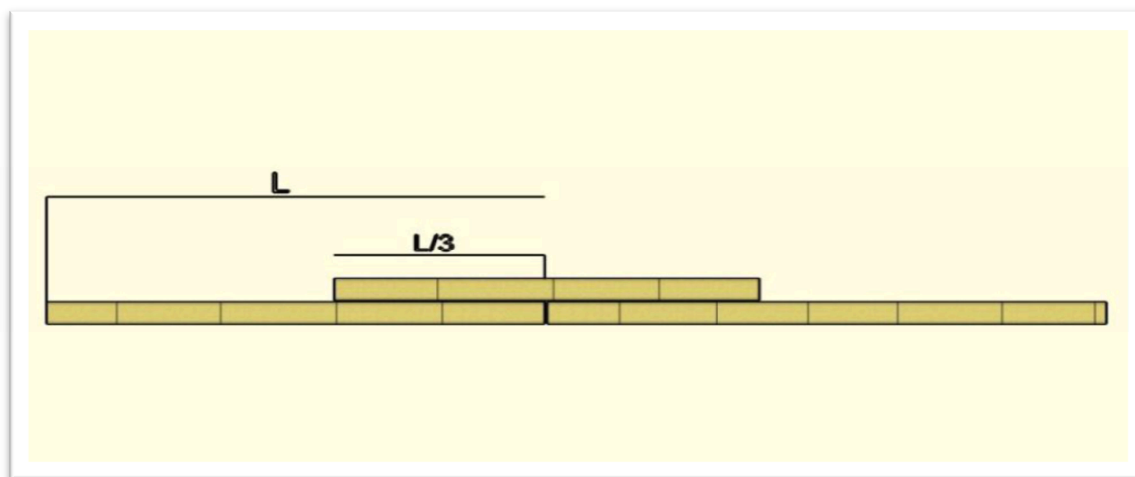


Figura 45 - Tamanho aconselhado e posicionamento da vara de união externa. Fonte: Pereira (2001)

4. Com o auxílio de um furadeira deve-se fazer pelo menos 2 furos no mesmo sentido entre as varas unidas e a vara externa, aproximadamente a $1/3$ da distância entre a ponta com o corte seco e o centro da vara usada para a união externa. O mais indicado é o uso de quatro furos, os dois citados anteriormente. E mais dois que seriam posicionados de modo que furassem a vara de embuchamento interno próximo aos nós da mesma (Figura 46).

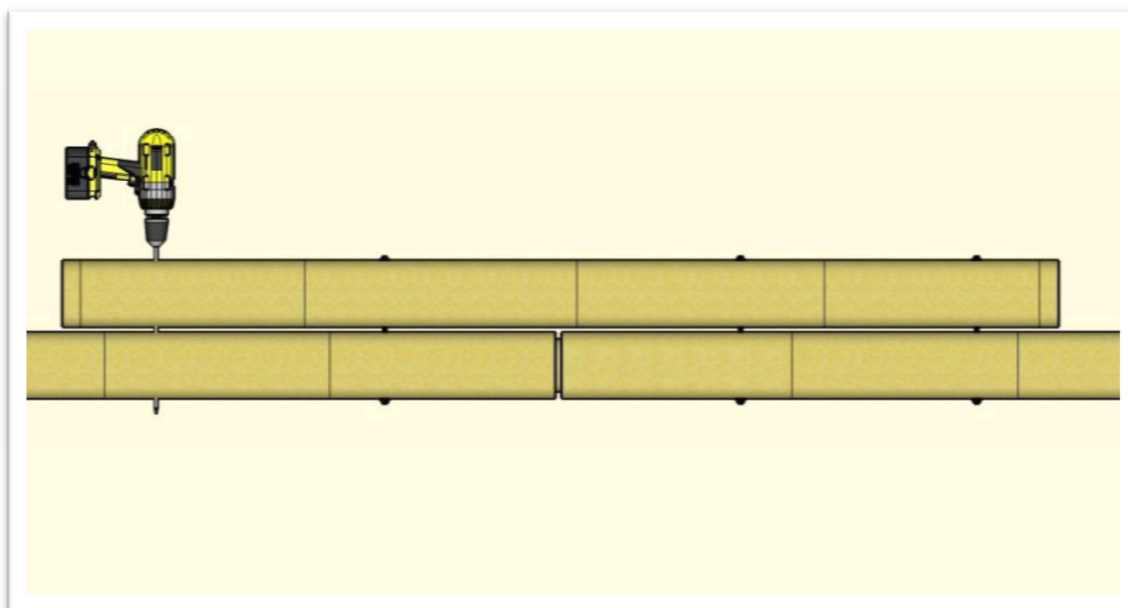


Figura 46 - Posicionamento das barras roscadas na União por trespasses e embuchamento interno. Fonte: Pereira (2001)

5. O uso de braçadeiras de aço nas pontas que receberam corte seco podem ajudar a conter os descolamento de fibras e prevenir rachaduras provenientes dessas pontas.

4.4. O USO DO BAMBU – PILARES

Nas uniões mais importantes pilar-base, pilar-viga, é indicado usar a conexão Simon Velez colocando um elemento de metal trabalhando perpendicularmente a corte sobre o bambu com um parafuso dobrado que agarra os bambus e funciona a tração que é a melhor resistência do material. Posteriormente depois da estrutura estar completa retira-se os elementos de apoio, após acomodação realiza-se um buraco de 2.5cm a dois nós das conexões e enche os nós dos bambus com cimento e areia.

A fixação dos pilares às sapatas foi feita por meio de barras de aço, concretadas às sapatas e que, após receberem os pilares, eram cimentadas no seu interior, criando-se um sistema de grande rigidez e segurança.

Rosa (2002) estudou pilares de concreto reforçado por bambu, e em sua dissertação de mestrado concluiu que o bambu pode substituir o aço em casas populares. Porém é importante ressaltar que o módulo de elasticidade do bambu é inferior ao do concreto, consequentemente para cargas axiais o bambu não ajudaria a combater os esforços de compressão sofridos pelo pilar.

Ghavami (2000) estudou o comportamento de pilares reforçados com bambu, sendo este reforço permanente. A espécie utilizada para este reforço foi a *Dendrocalamus Giganteus*, foi recebido o tratamento com a sikadur 32. Em seus resultados obteve que a carga de compressão máxima do equipamento utilizado que foi de 100 toneladas não foi o suficiente para levar o pilar à ruptura.

Através de um furo de mais ou menos 2,5 cm aberto com uma serra-copo na altura de 0,5 m da parte inferior do pilar, introduz-se a argamassa de cimento e areia na proporção, utilizando-se um funil.



Figura 47 - Cimentando o pilar. Fonte: Pereira (2001)

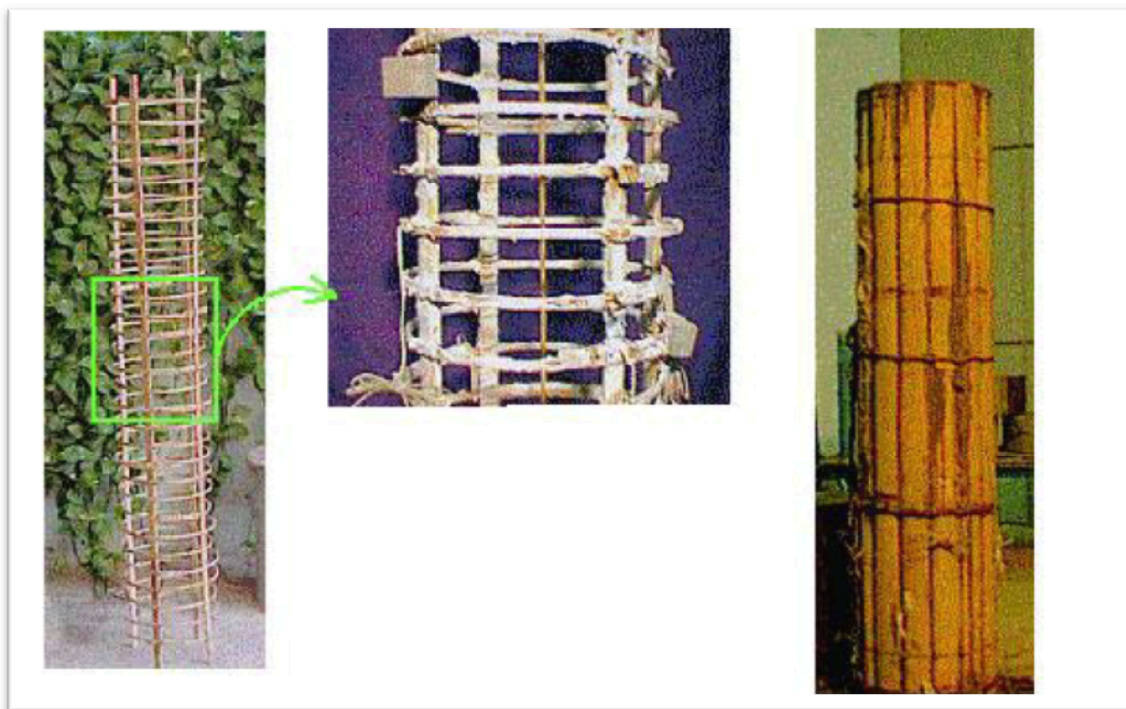


Figura 48 - Pilar reforçado por bambu, armação do pilar, instrumentação e pilar concretado. Fonte: (PUC-Rio – Certificado Digital nº 0210646/CA)

4.5. O USO DO BAMBU – VIGAS

Os bambus usados como vigas de entre pisos são por vezes sujeitos a grandes esforços verticais que podem quebrar o bambu. Sempre que possível deve-se cortar o bambu junto de um dos nós de modo a aumentar a sua resistência, caso não seja possível é solução colocar um cilindro de madeira ou metal dentro da extremidade, de modo que as forças não possam destruir o bambu. No caso de madeira poderemos utilizar uma lima para adaptar a seção irregular do bambu.

Ghavami (1995), em um dos seus trabalhos sobre estruturas de bambu, usou duas taxas de armação de bambu em vigas, uma de 3,33% (VB1) e a outra com 5% (VB2) isso em relação à seção transversal da viga. Geralmente para vigas de bambu usa-se a espécie *G.angustifolia*.

Para testes, uma viga foi reforçada por aço CA-50 kgf/mm² A com 78% de taxa de armação, com esta foi obtida uma carga de ruptura de 60 kN com uma flecha de 11 mm, já a VB1 atingiu uma carga de 25 kN com uma flecha de 14 mm e a VB2 uma carga de 16 kN com flecha de 12 mm.



Figura 49 - Conjunto pilar/viga. Fonte: Ghavami (1995)

4.6. O USO DO BAMBU – LAJES

Ghavami (1988) e Navarro (2002) estudaram laje reforçadas por metade e por $\frac{1}{4}$ da seção de bambu, estudaram a influência da seção transversal do colmo de bambu com e sem espaço de 3 cm na carga máxima. Resultados encontrados mostraram que as lajes construídas com metade da seção do bambu sem espaços entre si, apresentaram maior carga máxima, inferindo que lajes reforçadas com o bambu tiveram uma carga de ruptura experimental superior a duas vezes a mais que a teórica.



Figura 50 - Laje reforçada por bambu, forma de laje com reforço por metade da seção do bambu e concretagem da laje. Fonte: Ghavami (1995)

4.6. CONSTRUÇÕES DE BAMBU PELO MUNDO



Figura 51 - Recepção do Hotel do Frade & Golf Resort. Fonte: Google imagens



Figura 52 - Restaurante do Parque Natural Agropecuário da Costa Rica – PANACA.
Fonte: Google imagens



Figura 53 - Fachada do estacionamento do zoológico municipal de Leipzig. Fonte: Google imagens

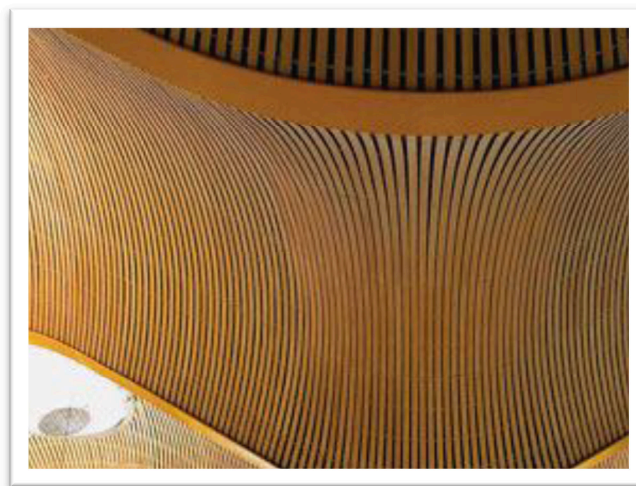


Figura 54 - Forro do Aeroporto Internacional de Barajas (Espanha). Fonte: Google imagens



Figura 55 - La Catedral Alterna Nuestra Señora de La Pobreza, de Simón Vélez, Colômbia. Fonte: Google imagens

5. CONCLUSÃO

Acredita-se que o desenvolvimento da cultura do bambu e o seu uso na busca por uma nova racionalidade ambiental, social, econômica, política e cultural, podem representar o desenvolvimento de novas formas de manejo produtivo da biodiversidade, uma valorização da diversificação dos tipos de desenvolvimento, e uma ação cidadã na participação do destino que daremos aos recursos naturais a nossa volta.

É preciso outro modo de pensar e de agir que incorpore outra relação homem-natureza. Trata-se de novo projeto de sociedade, de uma reinvenção de nossa tecnologia, de outra cultura que subordine as técnicas aos seus fins e não fique subordinada a elas, de um outro sentido para a vida, de novos valores que incorporem a equidade, a não violência, a solidariedade, a prudência, a simplicidade, a generosidade e a paz para todos os povos.

O uso do bambu na construção civil é uma realidade, porém não podemos generalizar esta afirmação e pensar que a solução para todos os problemas é a troca de todos os materiais usados atualmente pelo bambu. Os elementos construtivos devem se completar cada qual sendo usado da melhor forma possível potencializando suas qualidades e características positivas.

Muito já esta sendo feito e várias estruturas que foram projetadas estão sendo observadas quanto a sua durabilidade e patologias, este estudo pode trazer muita contribuição sobre quais problemas são mais comuns, quais são mais preocupantes e quais as formas de resolver os mesmos.

Conhecimentos tecnológicos são essenciais para a difusão do bambu como elemento marcante em obras que tenham um pensamento sustentável, mas que não querem perder a qualidade estrutural para tal denotação. O uso correto do bambu em obras de grande porte possui características positivas quanto ao peso próprio da estrutura e quanto às resistências do material. Só essas características já são suficientes para voltar os olhos para esse sistema construtivo, contudo existem outras qualidades como facilidade de transporte, fácil trabalhabilidade do material além de uma incomparável beleza estética.

Estas características fazem do bambu um material que tende a entrar no mercado da construção civil de forma significativa.

O intuito deste trabalho foi de mostrar que estruturas de bambu são seguras e resistentes.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AMADA, S. (1996). *The mechanical structures of bamboos in viewpoint of functionally gradient and composite materials*. In Journal of Composite Materials, Japan, Vol.30, nº 7, pp. 801-819.
- AZZINI, A.; BORGES, J.M.M.G.; CIARAMELLO, D.; SALGADO, A.L.B. (1990). *Avaliação quantitativa da massa fibrosa e vazios em colmos de bambu*. In: IV tecnologia de fibras (Anais), p. 141-146.
- BARBOSA, L. C. & INO, A. (1996). *Ligações em estruturas com bambu* . XXV CONBEA - Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola e II Congresso Latinoamericano de Ingenieria Agrícola. (Anais). Bauru, SP, Jul.
- BERALDO, A. L.(?). (1996). *Materiais alternativos para construções rurais*. Departamento de Construções Rurais. Faculdade Engenharia Agrícola - Unicamp. 28p. /Relatório Técnico UNICAMP.
- BERALDO, A. L.; AZZINI, A.; GHAVAMI, K.; PEREIRA, A. R. (2003), *Bambu: características e aplicações*. In:FREIRE, W. J.; BERALDO, A. L., pp. 253-319, Editor, Tecnologias e materiais alternativos de construção. Campinas, Unicamp.
- BUILDING MATIRIELS AND TECHNOLOGY PROMOTION COUSCIL. (1990). *Bamboo – A material for cost effective and disaster resistant housing*. Ministry of Urban Development & Poverty Alleviation, Government of India. New Dheli.
- CARDOSO,R. (2000). *Arquitetura com bambu*. Rio Grande do Sul.
- FARRELY, D. (1984). *The book of bamboo*. V. 2, Ed. Sierra Club Books, São Francisco – USA. GHAVAMI, K. et al. (1994). *Viabilidade de treliça espacial de bambu*. Relatório interno, Departamento de Engenharia Civil – PUC/ RJ.
- GHAVAMI, K. (1992). *Bambu... um material alternativo na engenharia*. In: Engenharia, n.492, p.23-27.
- GHAVAMI, K. (1995). *“Propriedades dos Bambus e suas aplicações nas obras de Engenharia, Arquitetura e Desenho Industrial”*. Artigos Compilados do Autor. CTC/ PUC-RIO. Jul. 201p.
- GHAVAMI, K.; RODRIGUES, C. S.; PACIORNIK, S.(2003). *Bamboo: Functionally Granded Composite Material*. Asian Engineering (building and housing), Irã, v. 4, n. 1, p. 1-10, 2003.
- GRAÇA, V. L. (1988). *Bambu: Técnicas para o Cultivo e suas aplicações*. Ícone Editora. São Paulo - Sp.

HIDALGO; L. O. (1974). *Bambu, su cultivo y aplicaciones en: fabricacion de papel, construccion, arquitectura, ingenieria, artesanía*. Estudios Técnicos Colombianos. Cali - Colombia.

JANSSEN, J. J. A. (1981). *Bamboo in building structures*. Eindhoven, Netherlands. Tese (Doutorado) - Eindhoven University of Technology. 235p.

JANSSEN, J. J. (1988). Building with bamboo. Intermediate Tecnology Publications.

LIESE, W. (1998). *The anatomy of bamboo culms*. Technical Report. International network of bamboo and Rattan, Beijing. Peoples Republic of China, pp.203.

LOPEZ, O. H. (1981). Manual de construccion com bambu. Estudios Técnicos Colombianos LTDA. Universidad Nacional de Colombia. Cali.

MOREIRA, L. E. (1991). Desenvolvimento de estruturas treliçadas espaciais de bambu. Departamento de Engenharia Civil. Pontificia Universidade Católica do rio de Janeiro. Brasil.

MURAD, J. (2007). As propriedades físicas, mecânicas e meso-estrutural do bambu *Guadua weberbaueri* do Acre. PUC. Rio de Janeiro.

OBERMANN,T. (2004). *bambu :: recurso sostenible parra estructuras espaciales*. Universidad nacional de Colômbia.medellín.

PEREIRA, M. A. R.; SILVA, C. L.; ARAÚJO, J. A. C. (1993). *Características dos colmos do bambu gigante utilizados como tubulação em um sistema de irrigação por aspersão*. In: XXII CONBEA - Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola (Anais). Ilhéus, Bahia, v.IV, Jul., p.2359-2370.

SALGADO, A. L. B. et alli. (1992). *Instruções técnicas sobre o bambu*. bol. Técnico 143. Instituto Agrônômico.Campinas. - Sp.

SUAREZ, D.L ; MANRIQUE, A. (2003). Estudio de uniones em Guadua com ângulo de inclinación entre elementos. Bogotá. Colômbia

THOMAZ, E. (1993). *Sistemas Construtivos para Habitação de Interesse Social – Proposta de Avaliação e Classificação pela relação custo-benefício*. In: II Simpósio Ibero - Americano sobre técnicas construtivas industrializadas para Habitação de Interesse Social (Anais). São Paulo, Out.

VILLEGAS, M. (1989). *Bambusa Guadua*. Villegas editores. Toppan Printing Co. Ltda. Japão.175p.

GHAVAMI,K. (1995). *“Propiedades dos bambus e suas aplicações nas obras de Engenharia, Arquitetura e Desenho industrial*. Artigos compilados do autor. CTC/PUC-Rio.Ju 201p.

GHAVAMI, K. et al. (1994). Viabilidade de treliça espacial de bambu. Relatório interno, Departamento de Engenharia Civil – PUC/ RJ.

GHAVAMI, K. (1992). *Bambu... um material alternativo na engenharia*. In: Engenharia, n.492, p.23-27.

PEREIRA, M. A. R.; SILVA, C. L.; ARAÚJO, J. A. C. (1993). *Características dos colmos do bambu gigante utilizados como tubulação em um sistema de irrigação por aspersão*. In: XXII CONBEA - Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola (Anais). Ilhéus, Bahia, v.IV, Jul., p.2359-2370.

JANSSEN, J. J. A. (1981). *Bamboo in building structures*. Eindhoven, Netherlands. Tese (Doutorado) - Eindhoven University of Technology. 235p.

JANSSEN, J. J. (1988). Building with bamboo. Intermediate Technology Publications.

LIESE, W. (1998). *The anatomy of bamboo culms*. Technical Report. International network of bamboo and Rattan, Beijing. Peoples Republic of China, pp.203.

LOPEZ, O. H. (1981). Manual de construccion com bambu. Estudios Técnicos Colombianos LTDA. Universidad Nacional de Colombia. Cali.

MOREIRA, L. E. (1991). Desenvolvimento de estruturas treliçadas espaciais de bambu. Departamento de Engenharia Civil. Pontifícia Universidade Católica do rio de Janeiro. Brasil.