

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL

RAQUEL VAN DEN BOOGAARD

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DO USO DO BAMBU
LAMINADO COLADO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2016

RAQUEL VAN DEN BOOGAARD

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DO USO DO BAMBU
LAMINADO COLADO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso superior de Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Luís Nunes de Góes.

CAMPO MOURÃO

2016



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Campo Mourão
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento Acadêmico de Construção Civil
Coordenação de Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso

ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DO USO DO BAMBU LAMINADO COLADO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

por

Raquel van den Boogaard

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 16h00min do dia 13 de junho de 2016 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Maiko Cristian Sedoski
(UTFPR)

Prof. Dr. Marcelo Rodrigo Carreira
(UTFPR)

Prof. Dr. Jorge Luís Nunes de Góes
(UTFPR)
Orientador

Responsável pelo TCC: **Prof. Me. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia Civil:

Prof. Dr. Marcelo Guelbert

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

AGRADECIMENTOS

O bambu, mesmo não sendo frondoso ou grande como muitas árvores, é capaz de resistir a tempestades ou períodos prolongados de frio. Isto é possível graças à estrutura complexa de raiz do bambu, que o deixa estável e oferece uma base forte para sua sustentação. Gostaria de agradecer aqui à minha base forte, que me manteve em pé durante a realização deste trabalho, mesmo nos momentos mais difíceis. Agradeço primeiramente a Deus, por ter me abençoado e acompanhado até aqui. Também agradeço à minha família, que sempre me apoiou e auxiliou, sendo minha base forte em absolutamente todos os momentos desta trajetória, se fazendo sempre presente.

Estando entre as plantas que mais cresce no mundo, pode-se observar que o bambu cresce somente para o alto. Não posso deixar de agradecer meu professor e orientador, professor Jorge Luís Nunes de Góes, por todo crescimento proporcionado durante este trabalho. Agradeço pelos conselhos, por toda atenção e pelos ensinamentos. Agradeço também ao técnico de laboratório, Maiko Sedoski, que teve participação fundamental na realização deste trabalho.

Vale lembrar que os bambus crescem sempre em moitas, sempre unidos uns aos outros. Isto nos ensina que é muito mais fácil atravessar as dificuldades e obstáculos que a vida nos impõe com o auxílio de outras pessoas. Gostaria de agradecer a todas as pessoas que de alguma maneira me acompanharam nesta trajetória, me auxiliaram e estiveram presentes em algum momento. Seja com uma palavra amiga, um abraço nos momentos de dificuldade, ou simplesmente pela sua presença. Muito obrigada a todos os meus amigos, familiares e colegas!

Notice that the stiffest tree is most easily cracked, while the bamboo or willow survives by bending with the wind (Bruce Lee).

RESUMO

BOOGAARD, v. d. R.. **Estudo da viabilidade técnica do uso do Bambu Laminado Colado na construção civil**. 2016. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2016.

O bambu tem se mostrado um material capaz de suprir a necessidade do uso de materiais sustentáveis na construção civil, por ser um material renovável e de fácil obtenção. Sua alta resistência e rápido crescimento vêm impulsionando seu uso; porém sua forma geométrica, variações dimensionais e ausência de documentos normativos com indicações a respeito do seu uso são fatores limitantes para sua utilização com fins estruturais. O presente trabalho apresenta e discute uma análise experimental em vigas de Bambu Laminado Colado (BLC), compostas de lâminas aglutinadas de bambu. Estas vigas foram ensaiadas à flexão estática e compressão paralela às fibras, e suas propriedades mecânicas comparadas com as de algumas madeiras. Os resultados indicam o potencial uso do BLC, já que este apresentou propriedades semelhantes às de madeiras nobres, demonstrando-se a viabilidade do seu uso. Por fim, espera-se estimular e fomentar o uso do BLC e o desenvolvimento de normas e códigos que regulamentem seu uso.

Palavras chave: Bambu. Bambu Laminado Colado. Propriedades físicas e mecânicas.

ABSTRACT

BOOGAARD, v. d. R.. **Study of the technical viability of Glued Laminated Bamboo in the construction field.** 2016. 100 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2016.

Bamboo has shown itself as capable of meeting the need of sustainable materials in the construction field, being a renewable and easily obtained material. Its strength and rapid growth have boosted its use; however its geometry, dimensional variations and lack of standardization have been limiting its use for structural purposes. This paper presents and discusses an experimental analysis of Glued Laminated Bamboo (GLB) beams, which are composed of bonded sheets. These beams were tested in static bending and parallel to the grain compression tests, and its mechanical properties compared to some types of wood. The results showed the potential use of GLB, since it presented properties comparable do hardwood, proving the viability of its use. Finally, it is aimed to encourage and foster the use of Glued Laminated Bamboo and its standardization.

Keywords: Bamboo. Glued Laminated Bamboo. Physical and mechanical properties.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Seção de um colmo de bambu e suas denominações.....	16
Figura 2 - Seção Transversal do Colmo de <i>D. asper</i> , feixes fibrovasculares e tecidos parenquimáticos	17
Figura 3 - Bambu da espécie <i>D. giganteus</i>	19
Figura 4 - Rachaduras em consequência de armazenagem inapropriada, seguida de ataque de fungos.....	26
Figura 5 - Tratamento por imersão em água na Tailândia	28
Figura 6 - Andaime de bambu de camada simples	30
Figura 7- Ilhas flutuantes na África.....	30
Figura 8 - Casa construída em bambu no Havaí.....	31
Figura 9 - Millenium Bridge.....	32
Figura 10 - Sunrise House.....	32
Figura 11 - Aeroporto Internacional de Barajas	33
Figura 12 - Amostras de bambu para ensaio de resistência mecânica	40
Figura 13 - Moita de bambu <i>Dendrocalamus asper</i> utilizada na pesquisa	44
Figura 14 - (a) Colmo de bambu inteiro após o corte, (b) Colmos fracionados prontos para o transporte	45
Figura 15 - Modelo de corte das taliscas do bambu	46
Figura 16 - Taliscas de bambu fracionadas.....	46
Figura 17 - Taliscas entabicadas para secagem	47
Figura 18 - (a) Talisca sendo colocada na desgrossadeira estacionária, (b) Padronização das espessuras das taliscas.....	48
Figura 19 - Corte lateral das taliscas para padronização	48
Figura 20 - Disposição das taliscas na seção transversal das vigas.....	49
Figura 21 - (a) Aplicação da resina nas taliscas, (b) Viga de BLC posicionada na prensa manual para secagem da resina	50
Figura 22 - Padronização dos corpos de prova após a secagem da resina.....	51
Figura 23 - Seção transversal de uma viga.....	52
Figura 24 - Seções transversais dos corpos de prova	54
Figura 25 - (a) Ensaio de flexão na máquina universal de ensaios mecânicos, (b) Corpo de prova rompido à flexão	55
Figura 26 - Corpos de prova de flexão após a realização dos ensaios.....	57

Figura 27 - (a) Ruptura típica por cisalhamento na linha de cola, (b) Ruptura por tração na borda inferior	57
Figura 28 - Ensaio de compressão paralela na máquina universal de ensaios mecânicos	58
Figura 29 - Corpos de prova de compressão paralela após a realização do ensaio .	59
Figura 30 - Corpos de prova após período de secagem na estufa.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Áreas desmatadas no Brasil até 2002.....	12
Tabela 2 - Espécies Prioritárias de Bambu	20
Tabela 3 - Resistência ao cisalhamento interlaminar do bambu <i>Guadua angustifolia</i>	25
Tabela 4 - Normas existentes para o uso do bambu.....	35
Tabela 5 - Resistência mecânica de amostras de Bambu Laminado Colado.....	41
Tabela 6 - Características do Bambu Laminado Colado produzido por diferentes pesquisadores	42
Tabela 7 - Largura das taliscas utilizadas para a confecção dos corpos de prova....	53
Tabela 8 - Resultados do Ensaio de Flexão.....	56
Tabela 9 - Resultados do Ensaio de Compressão Paralela.....	59
Tabela 10 - Teor de umidade e densidade aparente dos corpos de prova	60
Tabela 11 - Comparativo entre algumas madeiras e o BLC.....	63
Tabela 12 - Comparativo do Bambu Laminado Colado confeccionado e ensaiado por diversos pesquisadores.....	65

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3 REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DO BAMBU	16
3.1.1 Espécies de Bambu	17
3.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E MECÂNICAS DO BAMBU	21
3.2.1 Umidade	21
3.2.2 Resistência e rigidez à compressão paralela as fibras	22
3.2.3 Resistência e rigidez à tração paralela às fibras	23
3.2.4 Resistência e rigidez à flexão	23
3.2.5 Resistência ao cisalhamento	24
3.3 DURABILIDADE DO BAMBU	25
3.4 USOS DO BAMBU NA CONSTRUÇÃO CIVIL	29
3.5 NORMATIZAÇÃO DO USO DO BAMBU NA CONSTRUÇÃO CIVIL	33
3.5.1 Normatização	34
3.5.1.1 International Organization for Standardization (ISO)	35
3.5.1.2 China	36
3.5.1.3 Colômbia	36
3.5.1.4 Equador	37
3.5.1.5 Índia	37
3.5.1.6 Peru	37
3.5.1.7 Estados Unidos da América	38
3.5.2 Futuro das Normas	38
3.6 BAMBU LAMINADO COLADO	38
3.6.1 Tipos de adesivos	43
4 MATERIAIS E MÉTODOS	44
4.1 OBTENÇÃO DO BAMBU	44
4.2 PREPARAÇÃO E CONDICIONAMENTO DAS TALISCAS	45
4.3 PADRONIZAÇÃO DAS TALISCAS	47
4.4 COLAGEM DAS VIGAS	49
4.5 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	52
5 RESULTADOS	55

5.1 ENSAIO DE FLEXÃO	55
5.2 ENSAIO DE COMPRESSÃO PARALELA.....	58
5.3 ENSAIO DE UMIDADE E DENSIDADE	60
6 DISCUSSÕES.....	62
6.1 COMPARATIVO DO BAMBU LAMINADO COLADO COM MADEIRAS UTILIZADAS NO BRASIL.....	62
6.2 COMPARATIVO DO BAMBU LAMINADO COLADO DE DIVERSOS PESQUISADORES	64
6.3 DIFICULDADES E LIMITAÇÕES DO USO DO BAMBU LAMINADO COLADO	66
7 CONCLUSÕES	67
REFERÊNCIAS.....	68

1 INTRODUÇÃO

A crescente necessidade do uso de materiais sustentáveis e também renováveis tem fomentado o uso do bambu na construção civil nos últimos anos. Isto porque o aumento da escassez de produtos como a madeira, além da ausência da madeira nativa em algumas regiões do Brasil tem elevado seu valor comercial.

É importante ressaltar os problemas relacionados com o desmatamento e intensa redução da cobertura vegetal do país. A intensa urbanização, atividade agropecuária e abates ilegais realizados por madeireiras e indústrias de carvão e celulose resultam na depredação das florestas naturais. A tabela 1 apresenta os valores de desmatamento nas regiões brasileiras.

Tabela 1 - Áreas desmatadas no Brasil até 2002

Ecossistema	Área total original		Área remanescente		Rios e lagos		Área desmatada		Total
	Mil km ²	%*	Mil km ²	%**	Mil km ²	%**	Mil km ²	%**	
Amazônia	4230,5	49,8	3595,2	84,98	107,8	2,55	527,5	12,47	21,14
Cerrado	2047,2	24,1	1236,8	60,41	12,4	0,61	798	38,98	31,99
Mata Atlântica	1059	12,5	285,6	26,97	15,4	1,45	751,4	70,95	30,68
Caatinga	825	9,7	518,3	62,76	7,8	0,94	299,6	36,28	12,01
Pampas	178,2	2,1	73,7	41,36	17,8	9,99	86,8	48,71	3,48
Pantanal	151,2	1,8	131,2	86,77	2,6	1,72	17,4	11,51	0,7
Área do país	8491,9	100	5840,8	68,78	163,8	1,93	2480,7	29,21	100

* sobre a área do país ** sobre a área total ***sobre o total desmatado

Fonte: Zorzetto (2008)

Dentro deste contexto, faz-se importante a busca por materiais como o bambu, que além de ser sequestrador de carbono, ainda apresenta rápido crescimento e boas propriedades físicas e mecânicas. Caracterizado pela sua alta resistência e baixo peso, o bambu mostra-se um material capaz de suprir a necessidade do uso de materiais sustentáveis na construção civil.

Já utilizado há séculos como material para a confecção de móveis, artesanato e até mesmo alimentos, recentemente o material tem sido industrializado e destinado para a construção, em especial para usos estruturais. A forma geométrica

do bambu, suas variações dimensionais e outros fatores têm incentivado sua industrialização e criação de novas tecnologias para seu uso estrutural. Apesar de já existirem alguns documentos normativos com indicações a respeito do seu uso (ISO, ASTM, entre outras), o uso do Bambu Laminado Colado (BLC) ainda carece de normatização para seu uso e dimensionamento. As normas e especificações garantem a segurança das construções e seus ocupantes, e sua criação estimula o uso e desenvolvimento de novos materiais, além de tornar acessível o conhecimento sobre o material e estimular a criação de novas tecnologias.

Levando em consideração que florestas de madeira levam em torno de 15 e 30 anos para se estabelecer em países tropicais como o Brasil, e o fato de que o bambu pode ser colhido após 3 anos do seu plantio, e considerando ainda a necessidade da transformação do material para seu uso com fins estruturais na construção civil, o Bambu Laminado Colado foi escolhido como material de estudo deste trabalho. Busca-se a partir deste investigar suas propriedades mecânicas, bem como suas características e viabilidade do seu uso para fins estruturais.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo estudar a viabilidade técnica do uso do Bambu Laminado Colado na construção civil, como alternativa para a substituição de vigas de madeira.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterização física e mecânica do bambu da espécie *Dendrocalamus asper*;
- Confeção de corpos de prova de Bambu Laminado Colado;
- Realização de ensaios de flexão e compressão paralela em corpos de prova de Bambu Laminado Colado, e comparação dos valores obtidos com os de madeira de reflorestamento e BLC confeccionados por outros pesquisadores;
- Análise de resultados e indicação de recomendações de fabricação para o Bambu Laminado Colado.

3 REVISÃO DE LITERATURA

Muitos são os usos encontrados pela sociedade para o bambu. Há muitos séculos ele está presente na cultura e vida das sociedades, podendo seu uso ser observado no oriente há quase cinco mil anos, e há mais de 500 anos na América do Sul. Atualmente seu uso é muito difundido na Ásia e em alguns países da América Latina, como no Peru, no Equador e na Colômbia. Nos primórdios, seu uso era associado à fabricação de arcos e flechas, embarcações e utensílios domésticos, porém esses usos se modificaram com o aprimoramento das técnicas para utilização do material e maior conhecimento das suas propriedades (SILVA, 2005). Com o aperfeiçoamento do seu uso, suas características, tais como flexibilidade e altas resistências, passaram a ser mais exploradas. Desta maneira, esta matéria prima passou a ser utilizada em construções, podendo ser empregado como elemento estrutural, tanto em pilares e treliças, como até mesmo em pontes (CLARK; LONDONO; RUIZ-SANCHEZ, 2015).

Na Ásia já existe a produção em grande escala de painéis, móveis, papel e tecidos provenientes do bambu. Na Índia, China e Colômbia esta planta está inclusa em vários programas governamentais de fomento e pesquisas relacionadas ao seu cultivo e aproveitamento industrial. No Brasil, a exploração e produção em grande escala ainda não têm espaço no mercado, apesar de o material ser alvo de estudo de vários pesquisadores. Estes estudos vêm fomentando o seu uso, através da confirmação do grande potencial econômico e social desta matéria prima (SILVA, 2005).

Apesar de não ser um material de alta durabilidade, a aplicação de tratamentos apropriados no bambu pode elevar consideravelmente a vida útil do mesmo, fazendo com que este possa durar por várias décadas. Em consequência do seu baixo peso e alta flexibilidade, as edificações construídas com bambu apresentam excelente isolamento térmico e boa resistência a sismos. Sua disponibilidade local pode ainda gerar trabalho e renda aos moradores de regiões rurais onde o material pode ser encontrado, auxiliando o desenvolvimento destas regiões (CLARK; LONDONO; RUIZ-SANCHEZ, 2015).

3.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DO BAMBU

Considerado uma planta renovável e de rápido crescimento, o bambu cresce predominantemente em regiões de clima tropical. Para atingir sua altura máxima, que pode ser de até 30 m, a planta leva somente de 3 a 6 meses, o que a torna uma das plantas com a maior taxa de crescimento do planeta (PEREIRA e BERALDO, 2008). Caracterizado pela sua alta resistência mecânica e baixo peso, é considerado um material versátil, com inúmeros benefícios socioeconômicos (SHARMA et al, 2014).

Pertencente à família das gramíneas, o bambu é constituído de duas partes, uma subterrânea, que são os rizomas, e a outra aérea, que são os colmos, folhas e ramificações. Em seu habitat natural pode crescer a partir de sementes ou rizomas (JANSSEN, 2000). Considerados um complexo sistema subterrâneo, segmentado e com a presença de nós, os rizomas reproduzem-se dos rizomas e permanecem conectados entre si. Desta maneira há uma interconexão em que todos os indivíduos deste grupo são descendentes (clones) do rizoma primordial, e até certo ponto são interdependentes e solidários (SILVA; PEREIRA; SILVA, 2011). É o rizoma que dá origem ao colmo, o sistema lenhoso do bambu. Os colmos crescem em moitas, muito próximos uns aos outros, e são caracterizados por sua forma cilíndrica e normalmente oca, como ilustrado na Figura 1.

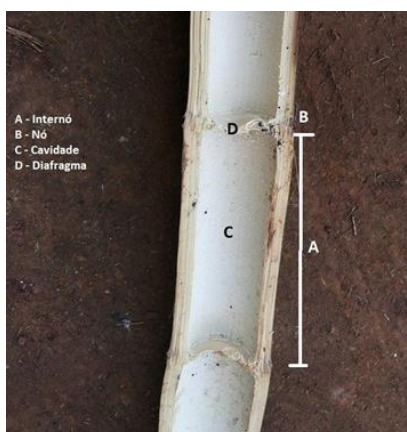


Figura 1 - Seção de um colmo de bambu e suas denominações
Fonte: Souza (2014)

Os nós possuem diafragmas internos, que evitam a flambagem do tubo, e externamente podem ser considerados como anéis. A parte entre dois nós é conhecida como internó, que é normalmente oco, formando uma cavidade. Cada internó é envolvido por uma folha caulinar protetora, que pode também apresentar pelos minúsculos, que em alguns casos podem inclusive penetrar e irritar a pele humana. Os colmos apresentam diferentes formas de crescimento, diâmetros e espessuras de parede, variando de espécie para espécie (JANSSEN, 2000).

Ainda de acordo com Janssen (2000), a parte externa do colmo é densa e apresenta cor escura, como pode ser observado na Figura 2. Esta camada possui aproximadamente um quarto de milímetro de espessura, e contém também muita sílica. A sílica exerce importante papel de proteção da planta, porém desgasta as bordas afiadas das ferramentas de corte. As manchas escuras, que vão diminuindo da esquerda para a direita na seção transversal, são fibras de celulose com tecidos condutores que proporcionam reforço ao bambu. O material entre os pontos escuros é chamado parênquima, e ele é a matriz em que as fibras são incorporadas. O colmo tem aproximadamente 50% de parênquima, 40% de fibras e 10% de tecidos condutores.

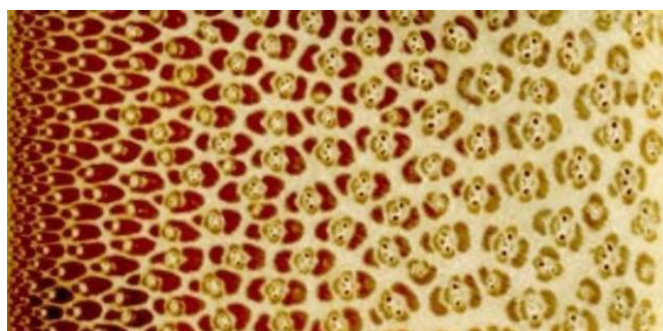


Figura 2 - Seção Transversal do Colmo de *D. asper*, feixes fibrovasculares e tecidos parenquimáticos
Fonte: Geroto (2014)

3.1.1 Espécies de Bambu

Os bambus são nativos da África, das Américas, Ásia e Oceania, e foram também introduzidos na Europa. Existem mais de 1250 espécies de bambu, e aproximadamente 75 gêneros, que crescem em diversos tipos de habitat com

inúmeras diferenças em suas características. Sua estatura pode variar de 50 cm (*Sasa boreallis* no Japão) a 40 m (*Dendrocalamus giganteus* na Ásia), assim como podem ser observadas variações na espessura de suas paredes, distância entre os nós, colmos e outros. Normalmente estes não comprometem a vegetação já existente, e podem ser utilizados para diferentes fins, dependendo de sua espécie, sendo o *Guadua* e o *Dendrocalamus* os mais utilizados para a construção civil (BENTON, 2015).

Os bambus podem ser divididos basicamente em dois grupos, os lenhosos e os herbáceos. Os herbáceos são mais utilizados como plantas ornamentais, e apresentam porte inferior. Já os lenhosos são de porte mais elevado, assemelhando-se com as árvores em termo de morfologia como raízes, colmo, formação de galhos e folhas, propriedades e resistência. No Brasil a maior parte das espécies nativas é ornamental, e a grande maioria das espécies aqui plantadas tem origem oriental. A principal exceção é o *Guadua*, originário da América, e que ocorre na Amazônia (Acre e Pará), no Pantanal e em Foz do Iguaçu (PEREIRA E BERVALDO, 2008).

Organismos internacionais ligados à cultura do bambu (INBAR 1998) classificaram 20 espécies como prioritárias com base em critérios relativos a cultivo, processamento e produtos. Algumas destas espécies e suas principais características podem ser observadas na Tabela 2.

Das espécies listadas, a mais utilizada para a fabricação do Bambu Laminado Colado é o *Dendrocalamus giganteus*, ilustrado na Figura 3. Isto porque a espécie apresenta colmos eretos e dimensões e espessura da parede proeminentes, viabilizando assim a retirada de lâminas do seu colmo. Considerada de porte gigante e de origem asiática, pode ser facilmente encontrada no Brasil, já que se adapta a regiões tropicais úmidas.



Figura 3 - Bambu da espécie *D. giganteus*
Fonte: MOIZÉS (2007)

Tabela 2 - Espécies Prioritárias de Bambu

Espécie	Alturas dos Colmos (m)	Diâmetro dos Colmos (cm)	Espessura das Paredes (cm)	Comprimento do Entrenó (cm)	Usos
<i>Bambusa balcooa</i>	20 a 24	8 a 15	2 a 2,5	30 a 45	Construções, casas e pontes
<i>Bambusa bambos</i>	15 a 30	15 a 18	1 a 1,5	20 a 40	Estrutural, material de construção e placa de bambu (Plybamboo)
<i>Bambusa blumeana</i>	15 a 25	6 a 10	0,5 a 3	25 a 60	Construção, laminado de bambu
<i>Bambusa Tulda</i>	até 30	5 a 10	0,4 a 0,7	40 a 70	Estruturas de madeira de qualidade média, construção
<i>Bambusa vulgaris</i>	8 a 20	5 a 10	0,7 a 1,5	25 a 35	Construção, andaimes
<i>Dendrocalamus asper</i>	20 a 30	8 a 20	1,1 a 2	20 a 45	Estrutural, útil para construção pesada em comunidades rurais
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	24 a 60	10 a 20	2,5	40 a 50	Bambu gigante, utilizado na indústria de laminado colado
<i>Gigantochloa apus</i>	8 a 30	4 a 13	1,5	36 a 45	Múltiplos usos, como ripas e laminados, materiais de construção e fins estruturais
<i>Gigantochloa levis</i>	até 30	5 a 16	1 a 1,2	45	Estrutural
<i>Gigantochloa pseudoarundinacea</i>	7 a 30	5 a 13	2	35 a 45	Estruturas de madeira, materiais de construção, tubulações de água
<i>Melocanna baccifera</i>	10 a 20	5 a 7	0,5 a 1,2	20 a 50	Coberturas em construções de casas

Fonte: INBAR (1998)

De acordo com Beraldo e Riveiro (2003), os grânulos de amido do *D. giganteus* apresentam diâmetro de $7,30\mu$ e os teores de amido e açúcar contidos são médios, o que faz com que a espécie possua uma boa resistência contra o ataque de insetos. Janssen (2000) afirma ainda que uma das propriedades mecânicas mais importantes para o bambu é sua massa específica aparente, sendo o valor médio para esta propriedade de 700 a 800 kg/m^3 . Beraldo e Riveiro (2003) encontraram um média de 810 kg/m^3 para o *D. giganteus* sem a presença de nós e 880 kg/m^3 para as amostras com a presença de nós.

3.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E MECÂNICAS DO BAMBU

O bambu apresenta excelentes propriedades mecânicas que são influenciadas pelo teor de umidade do seu colmo. Estas propriedades dependem também da idade e da densidade do colmo, e do teor de fibras que é o principal elemento responsável por sua resistência. As principais vantagens do bambu estão relacionadas a sua alta resistência e baixo peso. Janssen (2000) afirma que o bambu possui maior resistência ao cisalhamento que a madeira maciça, característica importante para as ligações.

A variação de densidade dentro do colmo do bambu tem um efeito considerável na sua resistência. Com exceção da resistência à flexão, tanto a resistência ao cisalhamento quanto a resistência à compressão paralela são correlacionados positivamente com o aumento da altura nos colmos.

3.2.1 Umidade

O teor de umidade dentro do colmo pode variar em função de fatores como: idade do colmo, região do colmo, espécie do bambu e estação do ano (CORREA, 2004). A estação tem uma grande influência sobre o teor de água no colmo, com um mínimo no final do período seco, seguido de um máximo na época das chuvas, durante este período o caule pode dobrar seu conteúdo de água. A variação devido à época é maior do que as diferenças entre topo e base, bem como entre as espécies (LIESE, 1985). Após o corte do colmo é necessário um período de um a

quatro meses de secagem ao ar, para que sua umidade fique entre 10 e 15%, reduzindo sua massa e melhorando suas propriedades mecânicas (BERALDO e RIVEIRO, 2003).

3.2.2 Resistência e rigidez à compressão paralela às fibras

A resistência a compressão paralela às fibras refere-se a capacidade do material de suportar tensões de compressão no sentido das fibras. O módulo de elasticidade a compressão paralela às fibras refere-se a capacidade de deformação longitudinal quando o material se encontra sob esforço normal de compressão paralela às fibras. A determinação do módulo de elasticidade do bambu em compressão apresenta certas dificuldades. Dependendo se o sensor utilizado para medir a deformação (extensômetro) se encontra próximo da camada externa ou próximo de um nó, há uma variação na deformação. A camada interna se deforma mais que a camada externa, devido à disposição dos elementos anatômicos. Sendo assim, o módulo de elasticidade encontrado nas camadas externas pode apresentar um valor de duas a três vezes maiores que a média da espécie. A curva tensão deformação, em ensaio de compressão paralela, apresenta comportamento praticamente linear, com resistência à compressão paralela situando-se na faixa de 20 a 120 MPa e módulo de elasticidade à compressão paralela variando de 2,6 a 20 GPa (PEREIRA e BERALDO, 2008).

Janssen (2000) comenta que um teste de compressão confiável sobre o bambu tem de ser executado entre placas de aço com superfícies livre de atrito, como as revestidas com teflon ou cera. Os ensaios de compressão podem ser realizados com dois tipos de corpos de prova, com amostras de seção retangular ou circular. As de seção retangular podem ser obtidas de espécies de bambu que apresentem paredes mais espessas. Como as amostras são pequenas, recomenda-se a escolha da região do internódio do colmo, visando eliminar o efeito causado pela presença do nó no colmo.

Ferreira (2007) afirma que em ensaios realizados considerando a área plena do bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus*, obteve-se uma resistência à compressão axial equivalente ao concreto simples (20 MPa). Entretanto, quando os

ensaios foram executados com as taliscas de bambu, verificou-se uma resistência de 53,9 MPa. Isto se justifica devido às dimensões de cada tipo de corpo de prova e aos cálculos de tensão axial para colmos inteiros ter considerado área plena, isto é, considerar os colmos maciços.

3.2.3 Resistência e rigidez à tração paralela às fibras

A resistência a tração paralela às fibras do bambu é elevada, e para algumas espécies pode atingir até 370 MPa. Isto faz do bambu um material atrativo para substituir o aço, principalmente quando for considerada a razão entre sua resistência a tração e sua massa específica aparente. Na maioria das vezes a resistência a tração do bambu com ou sem nó, situa-se entre 40 e 215 MPa, e o seu módulo de elasticidade varia entre 5,5 e 18 GPa (PEREIRA E BERARDO, 2008).

Ferreira (2007) afirma que nos ensaios realizados de tração paralela às fibras do bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus* o resultado obtido foi de 130 MPa e é condizente com a literatura, superando até importantes madeiras brasileiras utilizadas como elementos estruturais.

A realização de um ensaio de tração é uma operação particularmente delicada. A simples pressão das garras da máquina de ensaio pode provocar a ruptura dos corpos de prova e se a pressão for de baixa intensidade, pode ocorrer deslizamento do colmo durante o carregamento.

3.2.4 Resistência e rigidez à flexão

Os ensaios de flexão no bambu causam compressão paralelamente as fibras na parte superior do seu colmo, e tração paralelamente as fibras na sua parte inferior. Em geral, as tensões causadas pelos ensaios de flexão são suportadas nesta direção, porém o grande problema enfrentado pelos colmos do bambu é a força de ligação entre suas fibras. Isto ocorre pois para a realização do ensaio é necessário aplicar forças concentradas, o que pode causar tensões perpendiculares às fibras nas regiões solicitadas. Desta maneira o material acaba falhando em

decorrência desta condição, que é considerada um dos pontos fracos do bambu. Pode-se observar em ensaios de flexão que as fibras de bambu continuam em boa condição.

O bambu possui comportamento elástico linear na flexão, ou seja, quando aplica-se uma carga na seção transversal do bambu e retira-se ela em seguida, o bambu retorna a sua forma original. Outra característica notável do material é que este não sofre deformações permanentes quando tem cargas aplicadas durante longos períodos de tempo, ou seja não apresenta flechas decorrentes de sua fluência, característica muito comum na madeira (JANSSEN, 2000).

3.2.5 Resistência ao cisalhamento

Em testes de resistência ao cisalhamento, uma mesma espécie de bambu pode apresentar grandes variações em seus resultados, mesmo estando nas mesmas condições de umidade, temperatura e pressão. Isto se deve ao fato de o material ser uma matéria prima natural.

De acordo com Ghavami e Marinho (2005), a resistência ao cisalhamento no bambu não apresenta grandes variações ao longo do colmo, porém a presença de nós nos corpos de prova faz com que a resistência diminua consideravelmente. Na Tabela 3 apresenta-se os resultados obtidos para ensaios na base, centro e topo do *Guadua angustifolia*, e corpos de prova com e sem nós.

Tabela 3 - Resistência ao cisalhamento interlaminar do bambu *Guadua angustifolia*

Parte do bambu	Tensão de cisalhamento τ (MPa)
Base sem nó	1,67
Base com nó	2,20
Centro sem nó	1,43
Centro com nó	2,27
Topo sem nó	2,11
Topo com nó	2,42
Valor médio	2,02
Variação	1,43 - 2,42

Fonte: Adaptado de Ghavami e Marinho (2005)

3.3 DURABILIDADE DO BAMBU

Apesar de não ser considerado um material de alta durabilidade, a aplicação de tratamentos apropriados no bambu pode elevar consideravelmente a vida útil do mesmo, fazendo com que este possa durar por várias décadas (CLARK; LONDONO; RUIZ-SANCHEZ, 2015). Para aumentar sua vida útil deve-se atentar para alguns cuidados desde a sua colheita, até seu tratamento e uso.

Durante a colheita do bambu é importante seguir algumas regras, que iniciam na escolha da estação propícia para a sua colheita (quando a sua concentração de amido é menor), escolha correta da espécie, armazenagem das varas em lugar seco e sem contato direto com o solo, além dos cuidados durante o transporte (JANSSEN, 2000). De acordo com Liese e Tang (2015), o bambu não tratado tem uma durabilidade de menos de um ano quando exposto a intempéries e em contato com o solo, quando coberto pode durar cerca de 4 a 5 anos. Esta durabilidade dependerá das condições do ambiente em que está inserido, sendo também influenciada pela sua espécie e uso. As condições tornam-se mais críticas quando o bambu encontra-se dividido ao meio, já que o tecido parenquimático é mais vulnerável que os colmos. A parte inferior dos colmos é mais duradoura do que a parte intermediária e o seu topo, e a parte interior do colmo é atacada mais facilmente que a parte exterior. Durante sua armazenagem pode ainda haver

ataque de fungos e conseqüente apodrecimento, como ilustra a Figura 4. Assim como a madeira, o bambu é suscetível a organismos vivos que podem reduzir suas propriedades mecânicas, principalmente em conseqüência da presença de amido em sua constituição.



Figura 4 - Rachaduras em conseqüência de armazenagem inapropriada, seguida de ataque de fungos
Fonte: Liese e Kumar (2003).

Desta maneira alguns tratamentos se fazem necessários para sua preservação, e estes podem ser similares aos da madeira em alguns casos. Primeiramente, deve-se fazer a secagem do material, para que este ganhe resistência e torne-se menos suscetível a degradação biológica. Além disso, quando não há secagem adequada pode haver retração do material, provocando rachaduras em decorrência das tensões de contração da rápida secagem, ou até mesmo influenciando negativamente no processo de corte, cola e pintura do material. As mudanças no teor de umidade dos colmos, que podem ser causadas por mudanças de temperatura e exposição à umidade, têm como resultado a formação de fendas e fissuras nos colmos. Isto acontece em decorrência dos gradientes de umidade entre as camadas internas e externas do bambu, principalmente quando estas ocorrem de maneira brusca. A alta presença de sílica proporciona ao bambu uma casca resistente, e desta maneira danos físicos e mecânicos raramente acontecem. Outro problema recorrente é o fato de que o bambu queima-se facilmente, e os seus

colmos podem explodir devido à expansão do ar causada no interior do colmo causada pelo calor. O tratamento do material para reduzir sua flamabilidade é complicado, pois os tratamentos mais comuns utilizados para a madeira utilizam alta pressão, que não pode ser aplicada ao bambu, já que este é composto de tubos ocos. Produtos aplicados em sua superfície apresentam qualidade e fixação questionável (LIESE E TANG, 2015).

Deve-se ainda atentar aos diversos tipos de fungos que podem atacar o bambu e causar mudanças na sua cor e até mesmo seu apodrecimento. Fungos utilizam-se de componentes químicos dos colmos como sua fonte de energia, e podem germinar em qualquer lugar onde as condições sejam favoráveis. Normalmente o efeito só é notado em estágios avançados do ataque, quando já existe o dano físico do material. Bambus com teor de umidade entre 40 e 80% fornecem ambientes favoráveis a reprodução dos fungos, e teores de umidade abaixo de 20% tornam os ataques inviáveis. Desta maneira ressalta-se novamente a importância da secagem adequada dos colmos do bambu. Os insetos podem ser considerados um dos fatores que causam a maior destruição do bambu. Em climas tropicais, onde o bambu normalmente se encontra, os insetos têm as condições ideais para seu desenvolvimento. Aproximadamente 50 espécies de insetos já foram detectadas atacando bambus, sendo notáveis os cupins e carunchos. Estes insetos penetram no bambu, afetando seus tecidos e consumindo o material, deixando furos no mesmo (LIESE E TANG, 2015).

Para a prevenção dos problemas citados anteriormente, tratamentos químicos e não-químicos podem ser aplicados nos colmos do bambu. A escolha do tratamento dependerá de inúmeros fatores, desde sua espécie e estado de conservação, até sua finalidade e usos. Alguns dos tratamentos não químicos mais comuns para o bambu são o tratamento por imersão em água e a cura pela ação da fumaça. Na Figura 5 mostra-se o tratamento por imersão, no qual o bambu é imerso em água, com o objetivo de reduzir ou eliminar o amido nos colmos e evitando assim o ataque dos carunchos. Na cura pela ação da fumaça os colmos tornam-se enegrecidos, e formam-se substâncias tóxicas nas suas superfícies externas, ocorrendo também a degradação do amido, prolongando assim sua vida útil (PEREIRA e BERARDO, 2008).



Figura 5 - Tratamento por imersão em água na Tailândia
Fonte: Liese e Kumar (2003)

Já os tratamentos químicos podem ser classificados de acordo com o produto utilizado, podendo estes ser oleosos, óleo solúveis e hidrossolúveis. Para que os tratamentos químicos sejam eficientes, eles devem penetrar profundamente no colmo, não devendo evaporar ou serem lixiviados. Dos produtos oleosos o creosoto é o mais utilizado, sendo o banho quente/ frio o método mais comum. Este tratamento é indicado para peças que irão desempenhar funções estruturais, sendo eficiente contra o ataque de caruncho e microrganismos presentes no solo. O pentaclorofenol é um produto óleo solúvel muito comum para o tratamento de madeiras, e é também utilizado no tratamento de colmos de bambu contra o ataque de organismos xilófagos. Porém é importante ressaltar que o creosoto e o pentaclorofenol são produtos altamente tóxicos e seu uso é recomendado somente em locais onde não haverá contato humano. O tratamento com produtos óleo solúveis requer que os colmos de bambu estejam bem secos. Consiste em deixar os colmos completamente submersos na solução durante um intervalo de sete dias à temperatura ambiente. Os produtos hidrossolúveis são solúveis em água, porém ao penetrarem no bambu e reagirem com a lignina formam compostos insolúveis e tóxicos aos organismos xilófagos. Os sais mais utilizados são o borato de cobre cromatado ou uma mistura de ácido bórico e bórax (PEREIRA e BERALDO, 2008).

3.4 USOS DO BAMBU NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Na construção civil o bambu já é utilizado para diferentes fins, porém no Brasil seu uso restringe-se a pequenas iniciativas isoladas, voltadas para a inserção do bambu na construção civil. Nos países asiáticos, destacando-se a China e a Índia, o bambu já se tornou um material essencial para as sociedades, sendo empregado em inúmeras construções, desde casas, andaimes, escadas, esteiras, cercas e muitos outros. Estas construções, de um modo geral, são feitas de acordo com os sistemas tradicionais estabelecidos em cada país, baseados em costumes e prática.

Uma das grandes vantagens oferecidas pelos colmos ocos na construção civil, é sua propriedade isolante, que proporciona conforto térmico nos ambientes. Ghavami e Marinho (2001) afirmam que a condutividade térmica do bambu é menor do que a da madeira, sendo a transmissão de calor longitudinal 25% menor do que a da madeira e a transmissão de calor radial 15% menor. Pode-se ainda citar suas vantagens em territórios com movimentações sísmicas, pois sua leveza e flexibilidade proporcionam resistência à estrutura. Estas características, associadas às suas propriedades físicas e mecânicas, à diversidade de espécies e sua fácil propagação e rápido crescimento, tornam seu uso viável na construção civil.

O bambu pode ser utilizado não somente para pequenas casas, mas também para edificações maiores. Pontes com pequenos e grandes vãos livres já foram construídas utilizando o material, além de pilares, colunas e treliças. De acordo com Sharma et al. (2014), pontes de bambu para veículos já foram construídas na Colômbia e na China, são vastamente utilizados com fins estruturais na Etiópia, além de serem utilizados como andaimes na Índia, China e Hong Kong, como observa-se na Figura 6. Pode-se ainda citar o caso da Indonésia, onde o principal uso do bambu é para a construção de casas, sendo que 35% das casas do país são construídas apenas com bambu, e outros 35% são construídas com bambu e madeira. Nestes países observam-se casas com pilares, paredes, pisos, vigas e telhados construídos a partir do material. Além disso, seu uso tem também promovido uma tecnologia barata e de fácil assimilação, sendo desta maneira utilizado em moradiais sociais. Este é o caso de projetos desenvolvidos na

Colômbia e Costa Rica, onde seu potencial é utilizado em programas habitacionais destinados à população de baixa renda (PEIXOTO, 2008).



Figura 6 - Andaime de bambu de camada simples
Fonte: Engenharia e Construção (2012)

Marton (2008) afirma ainda que edificações luxuosas, que podem ser consideradas verdadeiras obras primas do ponto de vista arquitetônico, têm sido construídas para atender os desejos de pessoas com maior poder aquisitivo. Em Benin, na África, e nas Filipinas, podem ser encontradas as vilas flutuantes, que dependem inteiramente do bambu associado a madeira para sua existência, como verifica-se na Figura 7.



Figura 7 - Ilhas flutuantes na África
Fonte: LANGLAIS (2002)

Outro caso que mostra essa nova tendência do uso do bambu é o da empresa havaiana “Bamboo Living” que foi fundada em 1995. Esta empresa apresenta várias opções de casas construídas total ou parcialmente de bambu, promovendo o conceito de construções sustentáveis que são cada vez mais buscados pela sociedade, como observa-se na Figura 8. As casas, que podem ter diferentes designs, tamanhos e preços, atendem a todos os padrões exigidos pelo selo LEED *green building standards*, reduzindo o consumo de energia e promovendo a reciclagem de 70% dos resíduos da construção.



Figura 8 - Casa construída em bambu no Havai
Fonte: < <http://www.bamboolive.com/index.php> >

Podem-se ainda citar as construções de Elora Hardy, Indonésia que projetou mais de 50 estruturas únicas, em Bali na Indonésia, durante os últimos 5 anos. Destas estruturas nove encontram-se em um complexo chamado de Green Village, onde todas as construções são de bambu, em uma área que busca a harmonia com o meio ambiente. Na Figura 9 mostra-se uma ponte com vão livre de 22 metros que foi projetada e construída em bambu. As casas apresentam telhados com grandes curvaturas para que o vento possa entrar e ventilar os cômodos, e algumas contam com até 4 pavimentos, como ilustra a Figura 10.



Figura 9 - Millenium Bridge

Fonte: <<http://ibuku.com/projects/millenium-bridge/>>



Figura 10 - Sunrise House

Fonte: <<http://ibuku.com/projects/sunrise-house-2/>>

Um dos principais exemplos do uso do Bambu Laminado Colado na construção civil é o Aeroporto Internacional de Barajas, localizado em Madri na Espanha, e projetado pelo arquiteto Richard Rogers. Na Figura 11 observa-se a estrutura curvilínea de aço e chapas de alumínio, forradas com ripas laminadas de bambu.



Figura 11 - Aeroporto Internacional de Barajas

Fonte: <http://www.voyage-insolite.com/files/2013/09/Aeoport-international-Madrid-Barajas.jpg>

3.5 NORMATIZAÇÃO DO USO DO BAMBU NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Materiais não-convencionais na construção civil, assim como o bambu, são utilizados e dimensionados de acordo com a prática e experiência. Porém, quando existem normas que regulamentam o uso destes materiais, estas acabam sendo utilizadas voluntariamente, já que fornecem orientação e asseguram qualidade. Pode-se dizer que a criação de uma norma para regulamentar o uso de um determinado material, dá acesso ao conhecimento e incentiva a criação de tecnologias para o uso deste material. A criação de normas internacionais para o uso do bambu promoveria o uso do mesmo como material estrutural mundialmente. Normas regulamentadoras garantiriam a qualidade do material, além de oferecer detalhes específicos, como guias para o teste do material.

3.5.1 Normatização

Dependente de investidores envolvidos na construção que promovem e aceleram o processo e a criação de normas, o desenvolvimento de uma norma internacional encorajaria fabricantes a criarem produtos de alta qualidade, seguros e eficientes. Em 2004, a ISO (International Organization for Standardization) publicou três normas para regulamentar o uso do bambu na construção, sendo este um importante passo para a regulamentação do seu uso na construção civil. De acordo com Sharma (2010), estes métodos foram criados de acordo com conhecimento tradicional, e através da adaptação de normas da ISO para a madeira. Porém, ainda se faz necessário o desenvolvimento de normas e códigos que regulamentem o uso do bambu.

Países com abundância do material como a China, Colômbia, Equador, Índia e Peru têm desenvolvido normas para seu uso, sendo os líderes neste aspecto. Estas normas focam basicamente no uso dos colmos inteiros do bambu. Na Tabela 4 mostra-se um resumo das normas já existentes para o bambu (GATOÓ et al., 2014).

Tabela 4 - Normas existentes para o uso do bambu

País	Código	Norma
China		JG/T 199: Testing method for physical and mechanical properties of bamboo used in building (PRC MoC, 2007)
Colombia	Reglamento Colombiano de Construcción Sismoresistente – capítulo G12 Estructuras de Guadua (Guadua structures) (ICONTEC, 2010)	NTC 5407: Uniones de Estructuras con Guadua angustifolia Kunth (Structural unions with Guadua angustifolia Kunth) (ICONTEC, 2006) NTC 5525: Métodos de Ensayo para Determinar las Propiedades Físicas y Mecánicas de la Guadua angustifolia Kunth (Methods and tests to determine the physical and mechanical properties of Guadua angustifolia Kunth) (ICONTEC, 2007)
Equador	Norma Ecuatoriana de la Construcción – capítulo 17 Utilización de la Guadua Angustifolia Kunth en la Construcción (Use of Guadua angustifolia Kunth in construction) (INEN, 2011)	INEN 42: Bamboo Caña Guadua (bamboo cane Guadua) (INEN, 1976)
India	National Building Code of India, section 3 Timber and bamboo: 3B (BIS, 2010)	IS 6874: Method of tests for round bamboos (BIS, 2008) IS 15912: Structural design using bamboo – code of practice (BIS, 2012)
Peru	Reglamento Nacional de Edificaciones, Section III. Code E100 – Diseño y Construcción con Bamboo (ICG 2012)	
USA		ASTM D5456: Standard specification for evaluation of structural composite lumber products (ASTM, 2013)
Internacional		ISO 22156: Bamboo – structural design (ISO, 2004a) ISO 22157-1 Bamboo – determination of physical and mechanical properties – part 1: requirements (ISO, 2004b) ISO 22157-2: Bamboo – determination of physical and mechanical properties – part 2: laboratory manual (ISO, 2004c)

Fonte: Gatoó et al. (2014)

3.5.1.1 International Organization for Standardization (ISO)

Ainda de acordo com Gatoó et al. (2014), a ISO 22156: Bamboo – Structural design (ISO, 2004a) fornece um guia básico para a construção utilizando colmos inteiros de bambu. Esta norma é usada juntamente com a ISO 22157-1 Bamboo – determination of physical and mechanical properties – part 1: requirements (ISO, 2004b) que especifica os métodos adequados para ensaios, e a ISO 22157-2 (ISO, 2004c), manual técnico para determinação de propriedades do material. A ISO 22156 (ISO, 2004a) especifica também o uso de laminas de bambu, abrangendo o uso estrutural do plybamboo (GATOÓ et al., 2014).

3.5.1.2 China

A JG/T 199: Testing method for physical and mechanical properties of bamboo used in building (PRC MoC, 2007) oferece um guia para ensaios do bambu, incluindo testes físicos e mecânicos encontrados na ISO 22156 (ISO, 2004a), porém apresentando algumas diferenças em alguns testes e parâmetros. Pode-se citar como exemplo destas diferenças o fato de que a norma chinesa utiliza os colmos inteiros para os testes mecânicos, enquanto a ISO usa o colmo inteiro apenas para testes de compressão, tração e flexão. Além disso, a norma chinesa utiliza testes separados para obter o módulo de elasticidade na compressão, tração e flexão. Vale ressaltar que a JG/T 199 apresenta também um fator de correção que utiliza uma equação empírica para levar em consideração a umidade dos corpos de prova, para assim obter os valores de resistência e rigidez do material (GATOÓ et al., 2014).

3.5.1.3 Colômbia

Um dos capítulos da norma colombiana Reglamento Colombiano de Construcción Sismoresistente, inclui especificações para construções com o uso do bambu da espécie *Guadua*. Neste capítulo pode-se encontrar os requisitos mínimos para o dimensionamento estrutural utilizando o material. Estes requisitos incluem as tensões admissíveis, nos quais um valor modificado de tensão admissível é

determinado a partir das propriedades mecânicas, obtidas de valores experimentais e modificados por fatores que levam em conta a imprecisão dos testes (GATOÓ et al., 2014).

3.5.1.4 Equador

O capítulo 17 da Norma Ecuatoriana de la Construcción para a utilização do *Guadua angustifolia* Kunth na construção (INEN, 2011) regulamenta o processamento, seleção, construção e manutenção do material, descrevendo o processo, porém sem incluir valores de design para os cálculos. De maneira similar o INEN 42 (INEN, 1976) também estipula aspectos para a construção com o uso de bambu, mas também não inclui um guia para seu design (GATOÓ et al., 2014).

3.5.1.5 Índia

A seção 3B do National Building Code of India (NBCI) (BIS, 2010) apresenta valores limites de tensão para três classes de bambu encontrados na Índia. Alguns modelos de ligação e conexões são também apresentados, mas detalhes de dimensões e capacidades não são apresentados (Sharma, 2010). Além do NBCI, inúmeras normas indianas focam no design estrutural, como é o caso do IS 15912: Structural design using bamboo – code of practice (GATOÓ et al., 2014).

3.5.1.6 Peru

A norma peruana para o bambu foi aprovada em 2012, e cobre aspectos como dimensionamento e construção utilizando o material para resistência sísmica das estruturas. A norma colombiana e a ISO são citadas e cálculos para o dimensionamento de estruturas modificadas a partir da norma colombiana e equatoriana são inclusas, porém não tão detalhadas (GATOÓ et al., 2014).

3.5.1.7 Estados Unidos da América

A ASTM D5456: Standard specification for evaluation of structural composite lumber products (ASTM, 2013) é a primeira a reconhecer o uso de lâminas de bambu como um produto estrutural, apresentando guias para sua produção e métodos de teste. O material é tratado como um equivalente de materiais que utilizam a madeira serrada, como a Madeira Laminada Colada, o OSB (Oriented Strand Board) e o OSL (Oriented Strand Lumber). De maneira similar o IS 6874: Method of tests for bamboo (BIS, 2008) pode ser utilizado para determinar as propriedades físicas e mecânicas dos colmos de bambu (GATOÓ et al., 2014).

3.5.2 Futuro das Normas

Torna-se claro, a partir da análise das normas existentes, que em sua maioria todas baseiam-se na ISO, que mostrou-se insuficiente para viabilizar e fomentar o uso do bambu. Isto porque é clara a necessidade de expansão nos detalhes sobre dimensionamento com bambu, visto a expansão e desenvolvimento de novas tecnologias para o uso estrutural do mesmo. Além disso, é importante criar normas que sejam análogas as normas aplicadas à madeira, facilitando seu uso por arquitetos e engenheiros.

O material tem potencial para ser produzido em tamanhos e formatos padrões, desta maneira podendo ser facilmente comparado à madeira para seus testes e caracterização. Além disso, dessa maneira pode existir uma comparação mais simples entre as propriedades dos dois materiais, aumentando o mercado para seu uso. Visto o desenvolvimento recente de normas, e o crescente interesse pelo material, fica claro que é inevitável o desenvolvimento de normas e códigos que regulamentem seu uso (GATOÓ et al., 2014).

3.6 BAMBU LAMINADO COLADO

Idealizado a partir da Madeira Laminada Colada (MLC), o Bambu Laminado Colado (BLC) é composto também de lâminas aglutinadas, com o objetivo de

eliminar os pontos fracos do material, podendo assim, ser projetado para usos específicos. A produção do BLC torna-se viável nos casos em que o formato cilíndrico do bambu e suas variações dimensionais (altura, diâmetro, espessura das paredes) tornam-se fatores limitantes para o seu uso. De acordo com Peixoto (2008) pode-se atribuir o pouco uso do bambu na construção civil à impossibilidade de confecção de peças com seções transversais comerciais, além de sua não-linearidade ao longo dos colmos. Pode-se ainda citar a sua curta durabilidade e dificuldade de tratá-lo devido à sua forma oca, além das dificuldades nos encaixes das conexões entre as peças, principalmente em bambus de diâmetros diferentes.

Para superar estas limitações, produtos e tecnologias estão sendo desenvolvidos para incentivar o uso do bambu na construção civil. O bambu além de ser um material leve, pode ser comparado ao aço à resistência a tração, e ao concreto à resistência a compressão. A resistência a tração do BLC mostra-se muito similar a tensão dos colmos de bambu inteiros, resultado que pode ser atribuído a manutenção da direção longitudinal das fibras. Pode-se ainda afirmar que o processo garante um material resistente, e com melhores propriedades mecânicas, que reduz a influência da diferença de resistência ao longo das fibras. Em muitos casos os produtos de bambu podem ser comparados aos de madeira (SHARMA et al., 2014).

Para sua produção é necessário transformar as varas de bambu em elementos retangulares. Primeiramente divide-se o colmo em duas partes, que são então preparadas para a remoção da sua casca e da camada mais interna. Molha-se as partes, seca-se e então corta-se o bambu em lâminas retangulares e uniformes, formando assim as taliscas. Após a aplicação de resinas, as lâminas podem ser coladas umas às outras sob certa pressão. Desta maneira, pode-se então produzir BLC de diversos tamanhos diferentes, dependendo da maneira de como o bambu foi laminado. Após sua produção faz-se necessária a proteção do bambu contra umidade, insetos e fungos (LIESE; TANG, 2015). De acordo com Sharma et al. (2014) o produto final utiliza apenas cerca de 30% dos colmos do bambu, devido as grandes perdas durante a transformação de sua seção em uma seção retangular.

Gonçalves (2000) realizou ensaios onde foram utilizados colmos de bambu da espécie gigante (*Dendrocalamus Giganteus*), com no mínimo 3 anos de idade. Os colmos tinham comprimento entre 20 e 25 metros e espessura da parede entre 1 e 2 centímetros. No processamento dos colmos de bambu, para a confecção das amostras foram efetuadas as seguintes operações: abate dos colmos; desgalhamento; enfardamento e transporte; corte transversal dos colmos em serra circular esquadrejada originando peças sem os nós, com diâmetros entre 11 e 15 cm, comprimentos entre 21 a 48 cm e espessura de parede entre 13 e 22 mm; imunização das peças cilíndricas por imersão em reservatório, estocagem e secagem natural ao ar; corte longitudinal das peças para produção de ripas; aplainamento das ripas para a remoção da camada interna e regularização de uma face lateral; corte longitudinal das ripas para padronização da largura das ripas e regularização da segunda face lateral; corte longitudinal das ripas para padronização da largura das ripas; corte da superfície externa (casca) e padronização da quarta face; montagem das amostras empregando-se os adesivos de acetato de polivinila e resina resorcinol-formaldeído. A montagem das amostras e os ensaios de resistência foram feitos de acordo com a norma brasileira para madeira, NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997). Na Figura 11 mostra-se os corpos de prova confeccionados.

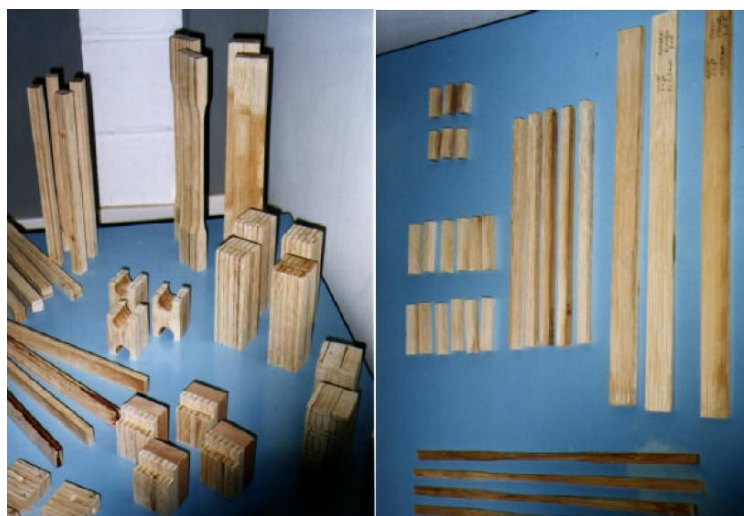


Figura 12 - Amostras de bambu para ensaio de resistência mecânica
Fonte: Gonçalves (2000)

Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 5, que apresenta um resumo dos valores médios obtidos nos diversos ensaios de resistência mecânica das amostras de bambu laminado.

Tabela 5 - Resistência mecânica de amostras de Bambu Laminado Colado

Ensaio	Resistência (MPa)
Dureza	352
Compressão paralela as fibras	55
Compressão normal as fibras	18
Tração paralela as fibras	195
Tração normal as fibras	2,5
Cisalhamento	10
Flexão	166

Fonte: Gonçalves (2000)

O Bambu Laminado Colado (BLC) apresenta excelentes propriedades mecânicas, tornando-o um material versátil, resistente e aplicável na construção civil. Na Tabela 6 mostra-se algumas características do Bambu Laminado Colado produzido por diferentes autores.

Tabela 6 - Características do Bambu Laminado Colado produzido por diferentes pesquisadores

Autor	Espécie	Secagem	Umidade (%)	Largura das taliscas de bambu (mm)	Espessura das taliscas de bambu (mm)	Comprimento das taliscas de bambu (m)	Adesivo	Idade do bambu	Dimensões das vigas de BLC (mm)	País
Peixoto	<i>D. giganteus</i>	Natural por 2 meses	8	30 a 45	8 a 12	até 4	Resorcinol-formaldeído	Não informada	Não informada	Brasil
Magnus e Vito	<i>Bambusa vulgaris</i>	Natural por 1 mês	Não informada	Não informada	Não informada	10	Resina a base de uréia-formol	5 anos	5 x 10,4 x 200	Brasil
Sharma et al.	<i>Phyllostachys pubescens</i> (Moso)	Não informada	7	Não informada	19	2,44	Resina a base de fenol-formaldeído	Não informada	140 x 140 x varios	China
Yeh et al.	<i>Phyllostachys pubescens</i> (Moso)	Estufa	Não informada	33	6	1850	Resina a base de fenol-formaldeído	4 a 5 anos	30x120x1850 coladas umas às outras	China

3.6.1 Tipos de adesivos

Para a produção do Bambu Laminado Colado é necessário aderir as lâminas umas às outras. Isto se faz com o uso de adesivos, que promovem a adesão física e química entre as lâminas. Para a escolha correta do adesivo deve-se atentar a algumas características do material, como sua porosidade, densidade, estrutura anatômica, rugosidade, textura, capacidade de absorção e teor de umidade.

Os adesivos a base de poliuretanos (PU) possuem baixa viscosidade e alta polaridade, facilitando a cura e polimerização à temperatura ambiente. Além disso exercem alta força de coesão e adesão, flexibilidade de formulação e boa trabalhabilidade na temperatura de cura. Já os adesivos à base de resina resorcinol-formaldeído e ureia-formaldeído em soluções de água e álcool são recomendados para colagens resistentes à água, solventes orgânicos, fungos, intemperismo, entre outros. É pouco viscoso e apresenta uma resistência razoável na ausência de pressão devido à sua maior fluidez entre os poros do aderente.

Antes da aplicação dos adesivos é importante seguir alguns passos para se conseguir uma ligação eficiente. A preparação do bambu consiste na remoção do pó de sua superfície, ou qualquer outro material que possa impedir o contato do adesivo com o substrato a ser colado. Seguir rigorosamente as proporções de mistura recomendadas pelo fabricante, aplicar uma pequena pressão para proporcionar a cura ideal do adesivo, garantir que não haverá retrações exageradas durante a cura do adesivo, para desta maneira evitar tensões excessivas nas ligações (BERALDO e RIVEIRO, 2003).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A parte experimental desta pesquisa consistiu nas seguintes etapas: obtenção do bambu, preparação e condicionamento das taliscas, padronização das taliscas, colagem das taliscas para obtenção das vigas de Bambu Laminado Colado e produção dos corpos de prova.

4.1 OBTENÇÃO DO BAMBU

A espécie de bambu selecionada para a confecção dos corpos de prova foi o *Dendrocalamus asper*, visto que esta espécie apresenta boas propriedades físico-mecânicas, além da facilidade de obtenção do material na região. Os colmos foram colhidos da moita apresentada na Figura 13 com o auxílio de uma motosserra, em uma propriedade particular situada no município de Campo Mourão, no estado do Paraná. Procurou-se retirar aqueles com idade superior a 3 anos, como recomendado por Liese e Tang (2015), sendo o corte feito sempre rente ao segundo nó do colmo, de acordo com especificação de Santos e Lopes (1998), para assim evitar o acúmulo de água nos entrenós e o apodrecimento da planta.



Figura 13 - Moita de bambu *Dendrocalamus asper* utilizada na pesquisa

Lima Júnior e Dias (2001) nomearam as partes de um colmo de bambu como parte basal, intermediária e topo. Os colmos retirados para este estudo, que

apresentaram uma altura média de 20m, foram cortados em 3 partes iguais e apenas a parte intermediária destes utilizada, como recomendado por Lima Júnior e Dias (2001). Para possibilitar o transporte, o material foi fracionado ainda em campo, sendo que cada parte apresentou em média 2 metros de comprimento, como retrata a Figura 14.



Figura 14 - (a) Colmo de bambu inteiro após o corte, (b) Colmos fracionados prontos para o transporte

4.2 PREPARAÇÃO E CONDICIONAMENTO DAS TALISCAS

O passo seguinte consistiu no corte dos colmos em 8 partes iguais para a confecção das taliscas, conforme recomendado por Beraldo e Riveiro (2003) e ilustrado no esquema da Figura 15. Este processo foi feito com a ajuda de um facão, e as taliscas obtidas são apresentadas na Figura 16.

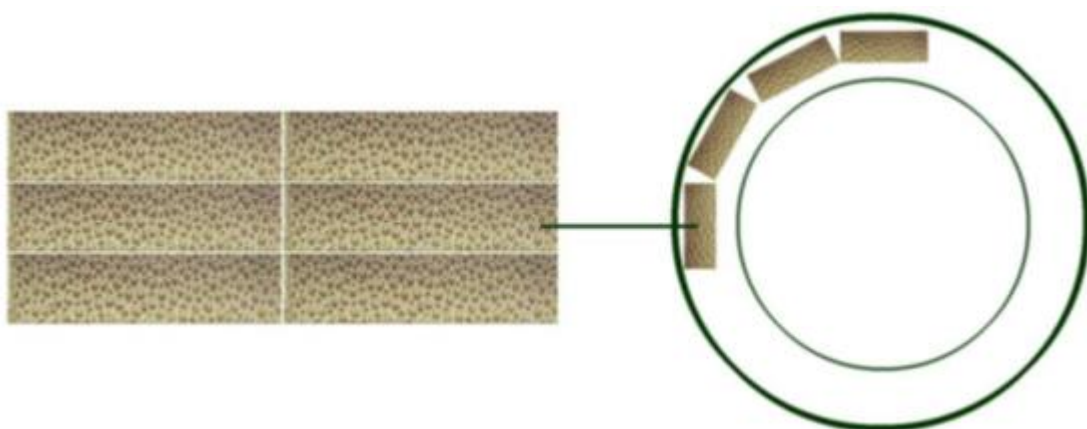


Figura 15 - Modelo de corte das taliscas do bambu
Fonte: Moizés (2007)



Figura 16 - Taliscas de bambu fracionadas

As taliscas foram então submersas em água durante 7 dias, para que a seiva fosse eliminada, evitando-se assim o ataque de insetos. Segundo recomendações de Paes, Oliveira e Lima (2009), a água foi renovada diariamente, para impedir o ataque de bactérias e fermentação do material. Posteriormente as taliscas foram empilhadas em local sombreado, ventilado e livre de umidade por um período de 15 dias, como mostra a Figura 17. Após este período foi feita a verificação do teor de umidade das taliscas. Para isto foram retirados 3 corpos de prova das taliscas,

sendo que estes foram colocados em uma estufa após sua pesagem. Quando a massa dos corpos de prova apresentou-se estável, estes foram retirados da estufa e verificou-se que o teor de umidade das taliscas era de 14%, sendo possível então iniciar-se o processo de padronização das mesmas.



Figura 17 - Taliscas entabizadas para secagem

4.3 PADRONIZAÇÃO DAS TALISCAS

O processo de padronização consistiu inicialmente na retirada das protuberâncias encontradas nos entrenós das taliscas, com o uso de uma lixadeira elétrica com lixa grossa. Em seguida removeu-se as camadas interna e externa do bambu com o uso de uma desgrossadeira estacionária, até obter-se a espessura de 4 mm. É importante retirar toda a camada externa para garantir uma boa adesão entre as lâminas. Este processo é mostrado na Figura 18.

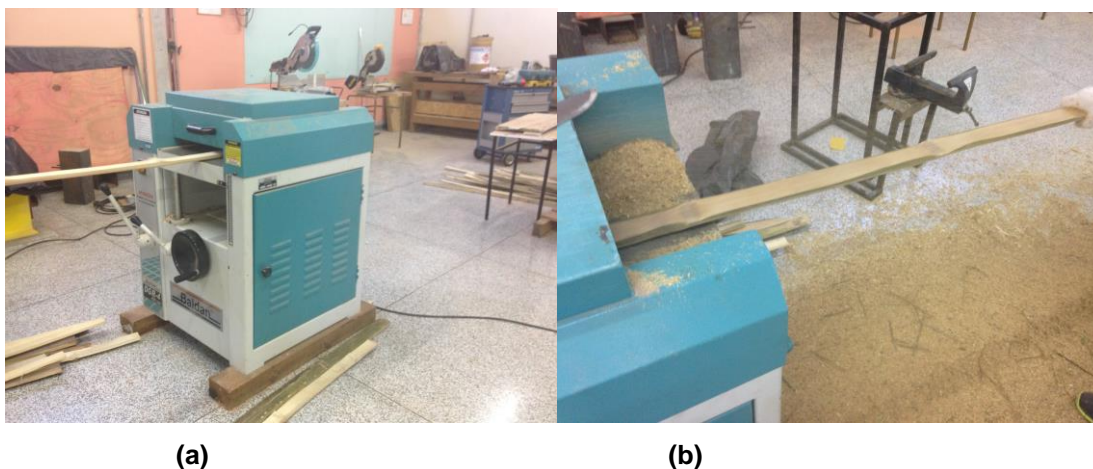


Figura 18 - (a) Talisca sendo colocada na desgrossadeira estacionária, (b) Padronização das espessuras das taliscas

O passo seguinte consistiu na realização dos cortes laterais das taliscas, para garantir seu alinhamento e padronização das dimensões. Foram separados maços de taliscas com larguras semelhantes, e estes foram passados em uma serra circular de mesa com lâmina vertical, como ilustra a Figura 19. Foram produzidas taliscas com as seguintes larguras: 20mm, 25mm, 30mm, 35mm, 40mm e 55mm.



Figura 19 - Corte lateral das taliscas para padronização

4.4 COLAGEM DAS VIGAS

Com todas as taliscas prontas foi feita uma inspeção em todas as lâminas, para que não fossem utilizadas lâminas com imperfeições ou quaisquer características que pudessem comprometer a aplicação adequada do adesivo ou a resistência do corpo de prova. As lâminas foram dispostas na seção transversal de duas formas distintas. Foram feitas quatro vigas com a disposição indicada na Figura 20, utilizando-se duas taliscas coladas lateralmente em cada camada, e uma viga com apenas uma talisca por camada.

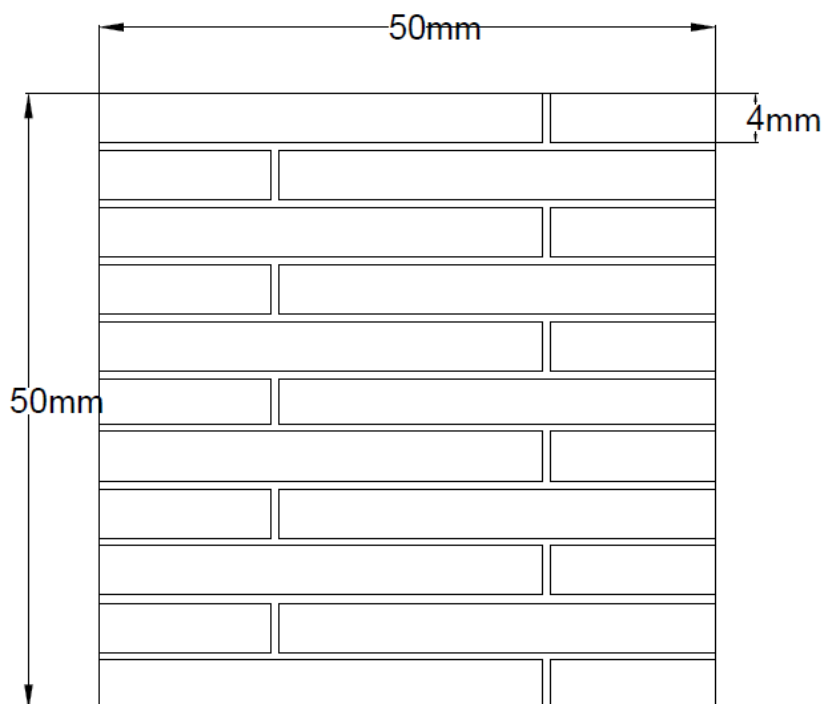


Figura 20 - Disposição das taliscas na seção transversal das vigas

Para a confecção das vigas foi utilizado em média 300g/m² da resina a base de resorcinol-formaldeído, Cascophen RS 216 M, acompanhada do seu endurecedor em pó. As taliscas foram coladas lateralmente e então sobrepostas, sendo a resina espalhada em uma camada fina e uniforme em toda a superfície e laterais das taliscas. É importante atentar ao tempo de aplicação e colagem das lâminas, já que este deve ser inferior ao tempo de cura da resina de 30 minutos

estabelecido pelo fabricante. No momento da sobreposição procurou-se não se sobrepor os nós das lâminas, para evitar pontos de baixa resistência nas vigas.

Após este processo, as vigas foram colocadas em uma prensa manual a frio por um período de 8 horas seguindo recomendações do fabricante, para auxiliar desta maneira a penetração do adesivo no substrato. Foram colocados torquímetros para controlar a pressão de colagem, que foi em torno de 1.5 MPa como recomendado por Yeh, Hong, Lin (2009).

Aplicou-se papel Kraft sobre a prensa para prevenir a colagem do corpo de prova na mesma, facilitando-se assim o processo de retirada do corpo de prova da prensa manual após o período de secagem. A Figura 21 mostra o processo de colagem das vigas.

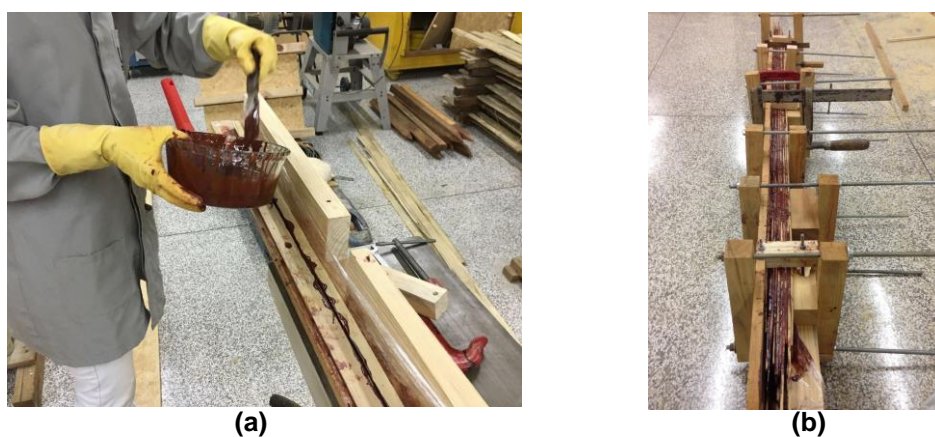


Figura 21 - (a) Aplicação da resina nas taliscas, (b) Viga de BLC posicionada na prensa manual para secagem da resina

As vigas de BLC foram produzidas com dimensões aproximadas às necessárias, tanto de seção transversal quanto de comprimento, sendo padronizados após a secagem da resina. Desta maneira garantiu-se dimensões precisas nos corpos de prova, podendo-se reduzir a seção transversal com o uso da plaina, como mostra a Figura 22, e sendo o corte no comprimento feito com o auxílio de uma serra.



Figura 22 - Padronização dos corpos de prova após a secagem da resina

A Figura 23 mostra a seção transversal de um dos corpos de prova. Pode-se observar as colagens laterais das taliscas e também a sobreposição das mesmas. As uniões laterais entre as lâminas foram posicionadas de forma alternada entre camadas adjacentes, conforme a Figura 23.



Figura 23 - Seção transversal de uma viga

4.5 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Foram confeccionados corpos de prova para o ensaio de flexão com dimensões de aproximadamente 50mm de espessura e 50mm de altura. O comprimento adotado foi de 1150mm, seguindo a recomendação da ASTM D5456 de que o comprimento mínimo dos corpos de prova deve ser de 21 vezes a sua altura. Tendo em vista que não há norma para realização de ensaios em corpos de prova de Bambu Laminado Colado, optou-se por fazer cinco corpos de prova para a realização dos ensaios de flexão. Devido à grande variabilidade dimensional do material, cada um dos corpos de prova apresentou composições diferentes de taliscas. A Tabela 7 mostra quais foram as combinações de taliscas utilizadas em cada um dos corpos de prova.

Tabela 7 - Largura das taliscas utilizadas para a confecção dos corpos de prova

Corpo de Prova	Largura das Taliscas (mm)		
CP 1	40	20	-
CP 2	35	25	-
CP 3	35	25	-
CP 4	35	30	25
CP 5	55	-	-

Para os CP 1, CP 2, CP3 e CP 4 as taliscas foram coladas lateralmente, e em seguida sobrepostas umas às outras. Já para o CP 5 foi utilizada apenas uma talisca por camada, sendo dispensada a colagem lateral neste corpo de prova. Esta disposição foi adotada para apenas um corpo de prova devido à disponibilidade de material. Desta maneira, optou-se por tratar o CP 5 como um material diferente nesta pesquisa. Os CP 1, CP2, CP 3 e CP 4 serão tratados como Bambu Laminado Colado com emendas laterais, e o CP 5 como Bambu Laminado Colado sem emendas laterais. A Figura 24 mostra as seções transversais dos corpos de prova confeccionados.



Figura 24 - Seções transversais dos corpos de prova

Além disso, após a realização do ensaio de flexão, extraiu-se um corpo de prova de compressão paralela de regiões não danificadas de cada um dos corpos de prova já ensaiados à flexão. Estes corpos de prova apresentaram 50mm de espessura, 50mm de altura e comprimento de 150mm, totalizando-se cinco corpos de prova de compressão paralela.

Retiraram-se também 3 corpos de prova de cada corpo de prova de flexão para verificação do teor de umidade e densidade do material, totalizando-se 15 corpos de prova. Estes apresentaram dimensões de 20mm de espessura, 30mm de largura e 50mm de comprimento. Após a retirada das medidas de cada um com o uso de um paquímetro e sua devida pesagem, foram colocados em estufa até a estabilização da massa dos mesmos.

5 RESULTADOS

5.1 ENSAIO DE FLEXÃO

O primeiro ensaio realizado foi o de flexão, sendo os cinco corpos de prova ensaiados na máquina universal de ensaios, com um vão livre de 1050mm, como mostra a Figura 25. Adotou-se como esquema estático uma viga simplesmente apoiada com uma força aplicada no meio do vão, conforme indica a NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997).

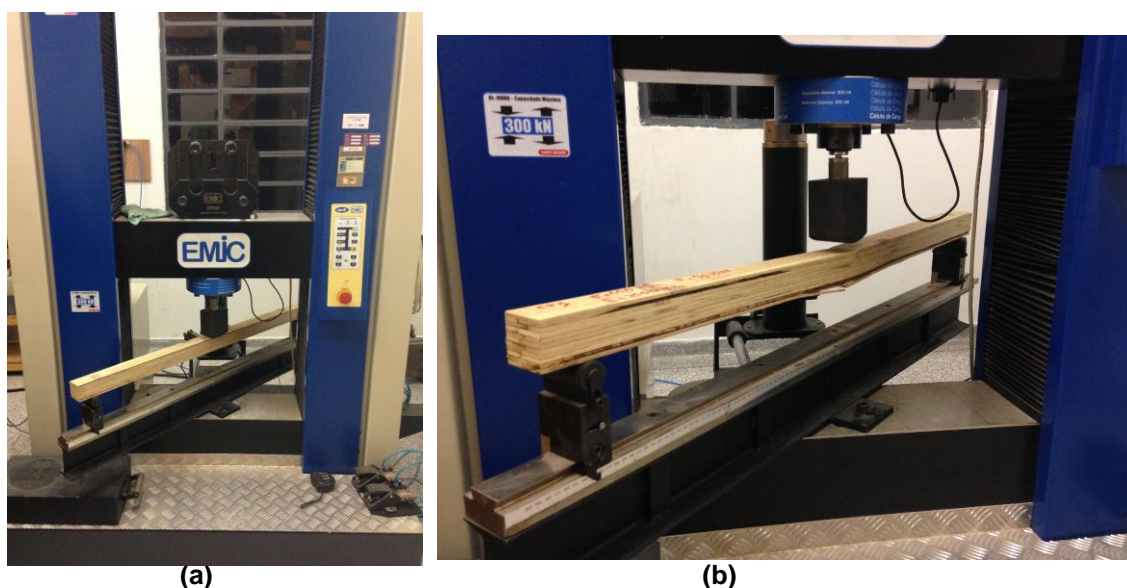


Figura 25 - (a) Ensaio de flexão na máquina universal de ensaios mecânicos, (b) Corpo de prova rompido à flexão

Para a obtenção da rigidez à flexão foi utilizado o esquema de carregamento da NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997). Além disso obteve-se os valores de resistência máxima à flexão de cada corpo de prova, como pode-se observar na Tabela 8.

Tabela 8 - Resultados do Ensaio de Flexão

Corpo de Prova	$f_{M,m}$ (MPa) ¹⁾	$E_{M,m}$ (MPa) ²⁾
CP 1 ⁴⁾	110,8	20050
CP 2 ⁴⁾	91,4	16148
CP 3 ⁴⁾	90,7	14913
CP 4 ⁴⁾	105,3	18857
Média	99,5	17492
COV ³⁾	8,75%	11,74%
CP 5 ⁵⁾	141,4	20531

¹⁾ $f_{M,m}$ é a resistência máxima à flexão dos corpos de prova

²⁾ $E_{M,m}$ é o módulo de elasticidade longitudinal obtido no ensaio de flexão

³⁾ COV é o coeficiente de variação

⁴⁾ Corpo de prova de Bambu Laminado Colado com emendas laterais

⁵⁾ Corpo de prova de Bambu Laminado Colado sem emendas laterais

Observa-se na Tabela 8 que os valores para o Bambu Laminado Colado sem emendas laterais (CP 5) apresentou-se superior aos valores obtidos no ensaio para o Bambu Laminado Colado com emendas laterais (CP 1, CP 2, CP 3, CP 4). Uma das possíveis causas deste aumento é que sem as emendas laterais foi possível obter uma colagem e aderência da resina melhores nas lâminas do bambu. Desta maneira pode-se dizer que as emendas laterais influenciaram negativamente a resistência dos corpos de prova.

A ruptura dos CP2, CP4 e CP 5 ocorreu através de cisalhamento na linha de cola, uma ruptura caracterizada como típica na Madeira Laminada Colada, que foi observada também no Bambu Laminado Colado. Já os CP 1 e CP 3 apresentaram ruptura por tração na borda inferior, com cisalhamento das taliscas. A Figura 26 mostra todos os corpos de prova após a realização dos ensaios.

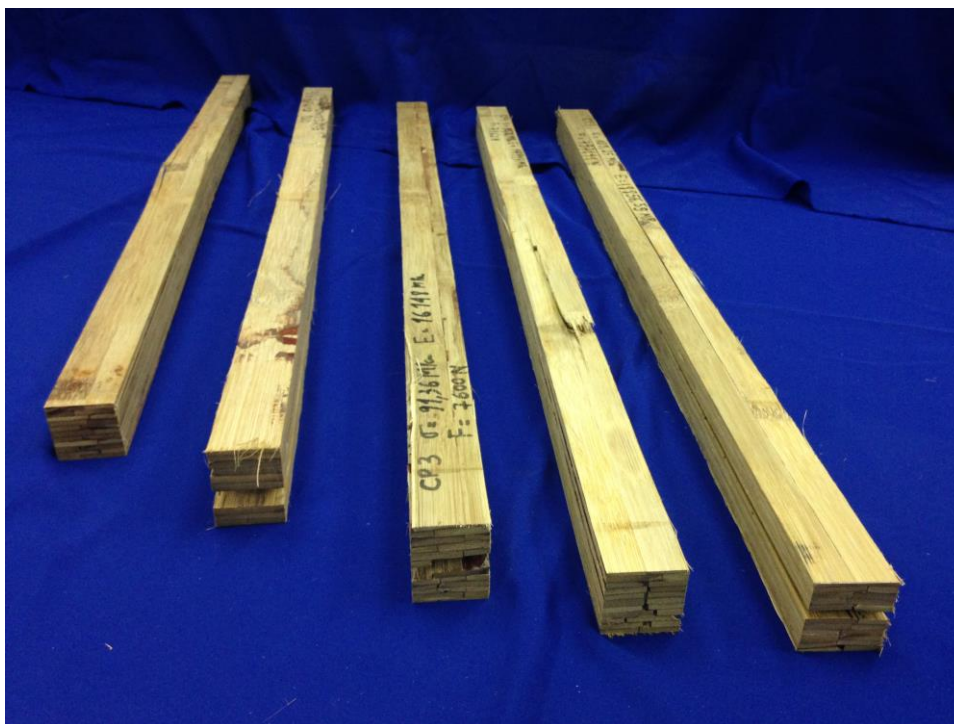
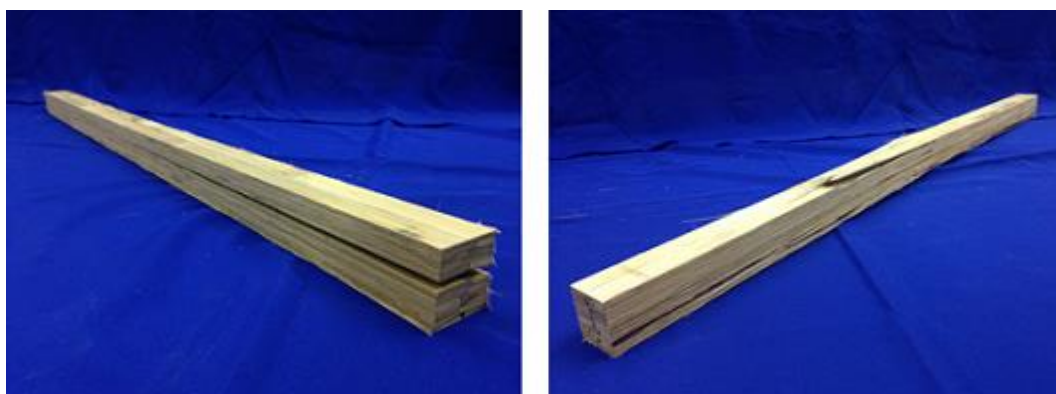


Figura 26 - Corpos de prova de flexão após a realização dos ensaios

Na Figura 27 pode-se observar o detalhe da ruptura por cisalhamento na linha de cola e a ruptura por tração na borda inferior.



(a)

(b)

Figura 27 - (a) Ruptura típica por cisalhamento na linha de cola, (b) Ruptura por tração na borda inferior

5.2 ENSAIO DE COMPRESSÃO PARALELA

Para a realização do ensaio e obtenção da rigidez do material, seguiu-se as diretrizes da NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997). A Figura 28 mostra um dos corpos de prova posicionado na Máquina Universal de Ensaio Mecânicos pronto para ser ensaiado.



Figura 28 - Ensaio de compressão paralela na máquina universal de ensaios mecânicos

Os resultados obtidos no ensaio podem ser observados na Tabela 10. Para a obtenção da resistência à compressão paralela às fibras do Bambu Laminado Colado, utilizou-se a relação entre a máxima força de compressão aplicada ao corpo de prova durante o ensaio e a área inicial da seção transversal comprimida, como indicado pela NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997).

Tabela 9 - Resultados do ensaio de compressão paralela

Corpo de Prova	$f_{c0,m}$ (MPa) ¹⁾	$E_{c0,m}$ (MPa) ²⁾
CP 1 ⁴⁾	65,46	19477
CP 2 ⁴⁾	53,74	16235
CP 3 ⁴⁾	51,50	13722
CP 4 ⁴⁾	59,73	17136
Média	57,61	16642
COV	9,45%	12,38%
CP5 ⁵⁾	77,95	22613

¹⁾ $f_{c0,m}$ é a resistência à compressão paralela às fibras
²⁾ $E_{c0,m}$ é o módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras
³⁾ COV é o coeficiente de variação
⁴⁾ Corpo de prova de Bambu Laminado Colado com emendas laterais
⁵⁾ Corpo de prova de Bambu Laminado Colado sem emendas laterais

Como no ensaio à flexão, neste ensaio observou-se também um melhor desempenho do Bambu Laminado Colado sem emendas laterais. A Figura 29 mostra os corpos de prova ensaiados à compressão paralela.

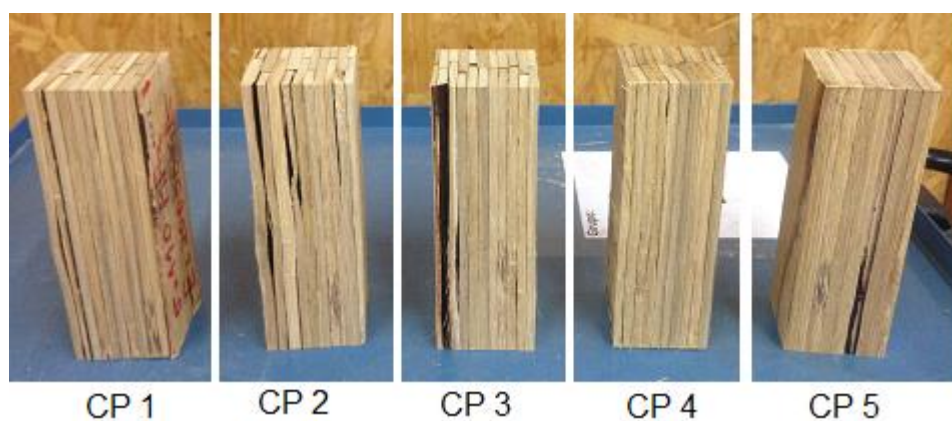


Figura 29 - Corpos de prova de compressão paralela após a realização do ensaio

5.3 ENSAIO DE UMIDADE E DENSIDADE

Neste ensaio determinou-se a densidade aparente e o teor de umidade dos corpos de prova, seguindo-se as orientações da NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997). Os valores obtidos podem ser observados na Tabela 10. A Figura 30 mostra os corpos de prova após secagem.

Tabela 10 - Teor de umidade e densidade aparente dos corpos de prova

Corpo de Prova	U (%) ¹⁾	ρ_{ap} (kg/m ³) ²⁾
CP 1 ³⁾	13.62	764.77
CP 2 ³⁾	13.74	752.15
CP 3 ³⁾	13.91	786.57
CP 4 ³⁾	13.69	709.60
Média	13.74	753.27
CP 5 ⁴⁾	13.38	882.01

¹⁾ Teor de umidade dos corpos de prova
²⁾ Massa específica aparente
³⁾ Corpo de prova de Bambu Laminado Colado com emendas laterais
⁴⁾ Corpo de prova de Bambu Laminado Colado sem emendas laterais



Figura 30 - Corpos de prova após período de secagem na estufa

6 DISCUSSÕES

Para a análise dos resultados dos ensaios dos corpos de prova, optou-se por fazer uma análise comparativa do Bambu Laminado Colado confeccionado nesta pesquisa com outros materiais. Fez-se primeiramente uma comparação do material com algumas espécies de madeira de reflorestamento, e em seguida comparou-se o mesmo com outras pesquisas que também confeccionaram o BLC. Além disso foram expostas as dificuldades e limitações encontradas durante a pesquisa.

6.1 COMPARATIVO DO BAMBU LAMINADO COLADO COM MADEIRAS UTILIZADAS NO BRASIL

A Tabela 11 mostra algumas das principais espécies de madeira utilizadas no Brasil e seus valores de massa específica aparente, resistência à compressão paralela às fibras e o módulo de elasticidade longitudinal obtido no ensaio de compressão paralela às fibras, sendo estes os valores médios fornecidos no Anexo E da NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997). Estes valores foram comparados com os resultados obtidos nesta pesquisa.

Tabela 11 - Comparativo entre algumas madeiras e o BLC

Nome Comum	ρ_{ap} (kg/m ³) ¹⁾	$f_{c0,m}$ (MPa) ²⁾	$E_{c0,m}$ (Mpa) ³⁾
Pinus caribea	579	35,5	8431
Pinus taeda	645	44,4	13304
Pinho do Paraná	580	40,9	15225
Eucalipto Grandis	640	40,3	12813
Cupiúba	838	54,4	13627
Argelim Pedra	694	59,8	12912
E. Citriodora	999	62	18421
Ipê	1068	76	18011
Garapa Roraima	892	78,4	18359
Jatobá	1074	93,3	23607
BLC Boogaard (2016) com emendas laterais	753	57,6	16643
BLC Boogaard (2016) sem emendas laterais	882	78,0	22613

¹⁾ ρ_{ap} é a massa específica aparente

²⁾ $f_{c0,m}$ é a resistência à compressão paralela às fibras

³⁾ $E_{c0,m}$ é o módulo de elasticidade longitudinal obtido no ensaio de compressão paralela às fibras

Fonte: Adaptado da NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997)

Por meio da análise dos valores fornecidos na Tabela 11 pode-se constatar que o Bambu Laminado Colado confeccionado nesta pesquisa apresenta-se como um material competitivo às principais madeiras utilizadas no Brasil. O BLC com emendas laterais apresentou valores de resistência superiores aos de algumas das principais coníferas de baixa densidade apresentadas na NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997), como é o caso do Pinus caribea, do

Pinus taeda e do Pinho do Paraná. Este apresentou ainda propriedades superiores aos da Cupiúba e do Eucalipto Grandis, folhosas de média densidade vastamente utilizadas comercialmente para fins estruturais. Já o BLC sem emendas laterais apresentou propriedades mecânicas ainda superiores, assemelhando-se até mesmo com algumas madeiras de alta densidade, como é o caso Ipê e da Garapa Roraima. Desta maneira pode-se dizer que suas propriedades são equivalentes e em alguns casos até mesmo superiores a uma madeira da Classe D-60 (maior classe de resistência de acordo com classificação fornecida na NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997)).

Pode-se observar que o BLC sem emendas laterais apresentou resistência à compressão de 78 MPa, valor semelhante à Garapa Roraima que apresenta resistência à compressão média de 78,4 MPa. Porém, seu módulo de elasticidade longitudinal de 22613 MPa mostrou-se superior aos 18359 MPa apresentados pela Garapa Roraima, comprovando assim sua semelhança e competitividade com as madeiras nobres. Constatou-se que uma das vantagens apresentadas pelo BLC confeccionado nesta pesquisa, foi seu módulo de elasticidade, que mostrou-se superior aos de madeira com valores de resistência à compressão semelhantes. Isto foi também observado no BLC com emendas laterais, que apresentou uma resistência à compressão de 57,6 MPa, valor próximo ao da Cupiúba e do Argelim Pedra, de 54,4 MPa e 59,8 MPa respectivamente. Mais uma vez seu valor de módulo de elasticidade de 16643 MPa mostrou-se superior aos de 13627 MPa e 12912 MPa apresentados pela Cupiúba e pelo Argelim Pedra, respectivamente.

6.2 COMPARATIVO DO BAMBU LAMINADO COLADO DE DIVERSOS PESQUISADORES

A Tabela 12 apresenta resultados apresentados por diversos pesquisadores que realizaram ensaios mecânicos de Bambu Laminado Colado.

Tabela 12 - Comparativo do Bambu Laminado Colado confeccionado e ensaiado por diversos pesquisadores

Pesquisador	Espécie	Adesivo	ρ_{ap} (kg/m ³)	Compressão		Flexão	
				$f_{c0,m}$ (MPa)	$f_{M,m}$ (MPa)	$E_{M,m}$ (GPa)	
Lee et al. (1998)	P. pubescens	Resorcinol, Isocianato	620-660	-	71-86	8	
Bansal e Prasad (2004)	B. bambos	Ureia Formaldeído, Melamina Ureia Formaldeído, fenol-formaldeído	728-796	-	123-145	12 - 17	
Correal e Lopez (2008)	G. angustifolia Kunth	Acetato de polivinila	-	36	82	-	
Correal et al. (2010)	G. angustifolia Kunth	Resorcinol- formaldeído, Melamina Ureia Formaldeído	730	60	111	-	
Pereira e Faria (2009)	D. giganteus	Acetato de polivinila	-	66	99	14	
Xiao et al. (2013)	P. pubescens	Fenol-formoldeído	800 - 980	51	99	9	
Golçalves (2000)	D. giganteus	Acetato de polivinila e resorcinol-formaldeído	-	55	166	-	
Magnus e Vito (2014)	B. vulgaris	Uréia-formol	-	-	16,57	11,2	
Sharma et al. (2014)	P. pubescens	Fenol-formoldeído	686	77	77-83	11 -13	
Boogaard (2016) com emendas laterais	D. asper	Resorcinol-formaldeído	753,27	58	100	17,5	
Boogaard (2016) sem emendas laterais	D. asper	Resorcinol-formaldeído	882,01	78	141	20,5	

Fonte: adaptado de Sharma et al. (2014)

Os resultados obtidos pelo Bambu Laminado Colado confeccionado neste trabalho apresentaram-se satisfatórios. Observa-se que a resistência a compressão paralela às fibras do BLC sem emendas laterais aproximou-se do resultado obtido por Sharma et al., sendo que os resultados do ensaio de flexão superaram os resultados do mesmo. Dentre as pesquisas apresentadas na Tabela 12, apenas Gonçalves (2000) apresentou um valor de resistência à flexão superior. O BLC com emendas laterais, mesmo que com resultados inferiores aos do BLC sem emendas laterais, apresentou um bom desempenho quando comparado aos resultados obtidos por outros pesquisadores. Pode-se constatar que este apresentou resistências e módulo de elasticidade muito próximos dos resultados obtidos por Correal et al. (2010) e Pereira e Faria (2009). Já os módulos de elasticidade longitudinal obtidos no ensaio de flexão de ambos os BLC's apresentarem-se superiores a todos os resultados obtidos.

6.3 DIFICULDADES E LIMITAÇÕES DO USO DO BAMBU LAMINADO COLADO

O bambu apresenta-se como um material de difícil trabalhabilidade, dadas suas variações dimensionais e o fato de este ser um material de difícil manuseio. Isto acaba por dificultar a confecção do Bambu Laminado Colado, criando-se assim uma barreira à propagação do seu uso.

Uma das dificuldades encontradas nesta pesquisa foi durante a retirada dos colmos da moita de bambu. Isto porque estes apresentam mais de 20 metros de altura, e encontravam-se intrelaçados uns aos outros no topo da moita. É importante ressaltar as grandes perdas de material durante sua usinagem, sendo que somente em torno de 30% do material é aproveitado para a confecção das vigas.

A ausência de documentos normativos que regulamentem o uso do BLC e a falta de critérios para seu dimensionamento dificultam a confecção do material e análise dos resultados, já que cada pesquisador adota parâmetros diferentes, inviabilizando muitas vezes a comparação dos resultados obtidos em cada estudo.

7 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos evidenciam que o Bambu Laminado Colado confeccionado nesta pesquisa apresentou excelentes resultados. Aponta-se que suas propriedades mecânicas são comparáveis às de madeiras nobres de reflorestamento, até mesmo excedendo as propriedades de algumas. Além disto, quando comparado com os resultados de BLC de outros pesquisadores, este também apresentou resultados satisfatórios.

Conclui-se que, para esta pesquisa, o uso das emendas laterais para a confecção dos corpos de prova influenciou negativamente nas propriedades mecânicas do material. Pode-se afirmar que o emprego do BLC em sistemas construtivos, em relação às suas propriedades mecânicas, é plenamente viável do ponto de vista técnico, entretanto, a falta de critérios técnicos para a realização dos ensaios e dimensionamento de estruturas de Bambu Laminado Colado criam uma barreira que impede o seu uso. Espera-se que os resultados obtidos nesta pesquisa impulsionem novas pesquisas e estimulem a criação de novas tecnologias que permitam a utilização do BLC no Brasil, incentivando a criação de normas e códigos que regulamentem seu uso e ofereçam respaldo técnico, conferindo-se assim mais segurança para sua utilização.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1997). **NBR 7190**: projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2011). **NBR 7190**: projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASTM International (2013). **ASTM: D5456: Standard specification for evaluation of structural composite lumber products**. West Conshohocken, PA, USA, 2013.

BAMBOO LIVING. Disponível em: <<http://www.bambooliving.com/index.php>>. Acesso em: 14/11/2015

BENTON, Andrew. Priority Species of Bamboo. In: LIESE, Walter; KOHL, Michael. **Bamboo: The plant and its uses**. Switzerland: Springer International Publishing Switzerland, cap. 2. p. 31-42, 2015. Disponível em: <<http://www.springer.com/series/5439>>. Acesso em: 14 nov. 2015.

BERALDO, Antônio L.; RIVEIRO, Lourdes A. **Bambu Laminado Colado (BLC)**. Revista Floresta e Ambiente, v. 10, n.2, 2003.

CLARK, L. G.; LONDONO, X.; RUIZ-SANCHEZ, E. Bamboo Taxonomy and Habitat. In: LIESE, Walter; KOHL, Michael. **Bamboo: The plant and its uses**. Switzerland: Springer International Publishing Switzerland, cap. 1. p. 1-30, 2015. Disponível em: <<http://www.springer.com/series/5439>>. Acesso em: 14 nov. 2015.

CORREA, Carlos F. F. **Caracterização Tecnológica do Bambu e desenvolvimento de módulo estrutural: Caracterização tecnológica de bambu do gênero Phyllostachys**. Relatório de pesquisa. Laboratório de Engenharia do IBAMA/LPF. Brasília, jul. 2004.

ENGENHARIA E CONSTRUÇÃO. **Andaimes de Bambu**. 2012. Disponível em: <<http://www.engenhariaeconstrucao.com/2012/02/andaimes-de-bambu.html>>.

Acesso em: 14 nov. 2015.

FERREIRA, Gisleiva C. dos S. **Vigas de concreto armadas com taliscas de bambu *Dendrocalamus giganteus***. 2007. 195 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

GATOÓ A, SHARMA B, BOCK M, MULLIGAN H, RAMAGE M. **Sustainable structures: bamboo standards and building codes**. Proc ICE Eng Sustainability 2014;167(5):189–96.

GEROTO, Pricila G.. **Caracterização anatômica e física - por densitometria de raios X - de colmos de *Dendrocalamus asper* Backer, *Dendrocalamus latiflorus* Munroe *Guadua angustifolia* Kunth**. 2014. 113 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Florestal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

GHAVAMI, K.; MARINHO, A. B. **Determinação das propriedades dos bambus das espécies: Mossô, Matake, *Guadua angustifolia*, *Guadua tagoara* e *Dendrocalamus giganteus* para utilização na engenharia**. 2001. 53 f. Departamento de Engenharia Civil. PUC-Rio. 2001.

GHAVAMI, Khosrow; MARINHO, Albanise B. **Propriedades físicas e mecânicas do colmo inteiro do bambu da espécie *Guadua angustifolia***. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Rio de Janeiro, V.9, n.1, p. 107-114, 2005.

Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662005000100016&script=sci_arttext>.

Acesso em: 14 nov. 2015.

GONÇALVES, M. T. T. et al. **Ensaio de resistência mecânica em peças laminadas de bambu**. Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Fortaleza, 2000.

INTERNATIONAL NETWORK OF BAMBOO AND RATTAN – INBAR. **Priority species of bamboo and rattan**. New Delhi, India. f.116, 1998.

JANSSEN, JULES J. A. **Designing and building with bamboo**. International Network for bamboo and Rattan (INBAR). Technical report no 20. Beijing. China. 2000.

LANGLAIS, Géry. **Maisons de bambou**. Paris: Édition Hazan, 2002.

LIESE, W; KUMAR, S. **Bamboo preservation compendium**. International Network for Bamboo and Rattan (INBAR), Beijing, 2003.

LIESE, Walter. **Bamboos: biology, silvics, properties, utilization**. Schriftenreihe. Der GTZ, No. 180. Eschborn, 132p, 1985.

LIESE, Walter; TANG, Thi Kim Hong. Properties of the Bamboo Culm. In: LIESE, Walter; KOHL, Michael. **Bamboo: The plant and its uses**. Switzerland: Springer International Publishing Switzerland, cap. 8. p. 227-256, 2015. Disponível em: <<http://www.springer.com/series/5439>>. Acesso em: 14 nov. 2015.

LIESE, Walter; TANG, Thi Kim Hong. Preservation and Drying of Bamboo. In: LIESE, Walter; KOHL, Michael. **Bamboo: The plant and its uses**. Switzerland: Springer International Publishing Switzerland, cap. 9. p. 257-298, 2015. Disponível em: <<http://www.springer.com/series/5439>>. Acesso em: 14 nov. 2015.

LIESE, Walter; WELLING, Johannes; TANG, Thi Kim Hong. Utilization of Bamboo. In: LIESE, Walter; KOHL, Michael. **Bamboo: The plant and its uses**. Switzerland:

Springer International Publishing Switzerland, cap. 10. p. 299-347, 2015. Disponível em: <<http://www.springer.com/series/5439>>. Acesso em: 14 nov. 2015.

LIMA JÚNIOR, H. C.; DIAS, A. A. **Vigas mistas de madeira de reflorestamento e bambu laminado colado: análise teórica e experimental**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 5, n. 3, p. 519-524, 2001.

MAGNUS, Franciele Pereira; VITO, Marcio. **Análise experimental do comportamento mecânico de vigas laminadas coladas confeccionadas com taliscas de bambu**. 2014. 15f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, UNESc, 2014.

HARDY, Elora. **Magical houses, made of bamboo**. Produção de Ted Talks, (10 min.), son., color., 2015. Legendado. Disponível em: <https://www.ted.com/talks/elora_hardy_magical_houses_made_of_bamboo>. Acesso em: 15 nov. 2015.

MARTON, Gustavo Lopes. **Produção de compensados de bambu (Dendrocalamus giganteus) utilizando adesivos à base de fenol e uréia**. 2008. 31 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Florestal, Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.

MOIZÉS, Fábio A. **Painéis de bambu, uso e aplicações: uma experiência didática nos cursos de Design em Bauru**, São Paulo. 2007. 116 f. Dissertação (Mestrado em Desenho Industrial – Área de Concentração: Planejamento de Produto) – Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação. Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2007.

PAES, Juarez Benigno; OLIVEIRA, Ana Karla Freire de Oliveira; OLIVEIRA, Elisabeth; LIMA, Carlos Roberto. **Caracterização físico-mecânica do Laminado Colado de bambu (Dendrocalamus giganteus)**. 2009. 11 f. Tese (Doutorado) -

Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal da Campina Grande, Santa Maria, 2007.

PEIXOTO, Luciana Kaviski. **Sistema construtivo em bambu laminado colado**: proposição e ensaio do desempenho estrutural de uma treliça planado tipo Warren. 2008. 205 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2008. Disponível em:

<http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/9731/1/2008_LucianaKaviskiPeixoto_reduzida.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2015.

PEREIRA, Marco A. R.; BERALDO, Antonio L. **Bambu de corpo e alma**. 1. ed. Bauru, SP: Canal6, 2008.

RIVERO, L.A & BERALDO A. L. **Laminado colado e contraplacado de bambu**. 2003. 85f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola, área de concentração Construções Rurais e Ambiência) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SANTOS, R. L.; LOPES, J. D. S.. **Construções com bambu: opções de baixo custo**. Viçosa: Centro de Produções Técnica, 1998. 40p. (Série Construções Rurais, 160),

SHARMA, Bhavna; GATOO, Ana; BOCK, Maximilian; MULLIGAN, Helen; RAMAGE, Michael. **Engineered Bamboo: state of the art**. 2014. 11 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura, Departamento de Arquitetura, University Of Cambridge, Cambridge, 2014. Disponível em:

<http://www.carltd.com/sites/carwebsite/files/Engineered_bamboo- state of the art, Proceedings of the Institution of Civil Engineers_0.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2015.

SHARMA, Bhavna, GATÓO, Ana; BOCK, Maximilian; RAMAGE, Michael. **Engineered bamboo for Structural Applications**. Cambridge, 24 set. 2014.

Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061815001117>>. Acesso em: 14 nov. 2015.

SHARMA, Bhavna. **Seismic Performance of Bamboo Structures**. Dissertação, University of Pittsburgh, Pittsburgh, PA, USA, 2010. Disponível em: <http://d-scholarship.pitt.edu/9277/1/2010_SharmaB_ETD.pdf>. Acesso em: 29 maio 2016.

SILVA, R.M.C. **O bambu no Brasil e no mundo**. Senador Canedo: EMBAMBU, 2005. 45P. Disponível em:

<http://www.embambu.com.br/imagens/bambu_brasil_mundo.pdf>. Acesso em 14 nov. 2015

SILVA, Isaac F.; PEREIRA, Daniel dos Santos; SILVA, Silvana Rocha Ferreira. **Estudos morfológicos do bambu (*Bambusa cf. vulgaris* L.), uma espécie invasora em área de Mata Atlântica no parque municipal de Maceió-Alagoas**.

Revista Semente. Maceió, v. 6, n. 6, 2011. Disponível em:

< <http://revistas.cesmac.edu.br/index.php/semente/article/view/148/106>>. Acesso em: 15 nov. 2015.

SOUZA, Andressa Martinelli de. **Os diversos usos do bambu na construção civil**. 2014. 103 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2014.

YEH, Min-Chyuan; HONG, Wei-Chen; LIN, Yu-Li. **Flexural properties of Structural Laminated Bamboo/ Solid Wood Composite Box Hollow Beams**. 2009. Taiwan: National Pingtung University of Science and Technology. Disponível em <http://support.sbcindustry.com/Archive/2008/june/Paper_119.pdf>. Acesso em: 14/11/2015.

ZORZETTO, Ricardo. **Mais verde do que imaginávamos: o país consumiu 30% de sua vegetação natural, a maior parte nos últimos 50 anos.** Revista Pesquisa Fapesp, n; 145, mar; 2008. Disponível em <<http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2008/03/20-25-Mais-verde-145.pdf?ca6690>>. Acesso em: 14/11/2015.