

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DOS MATERIAIS

THIAGO OLIVEIRA DOS SANTOS

**PRODUÇÃO DE BAMBU LAMINADO COLADO: PROPRIEDADES E
APLICAÇÕES**

Sorocaba
2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DOS MATERIAIS

THIAGO OLIVEIRA DOS SANTOS

**PRODUÇÃO DE BAMBU LAMINADO COLADO: PROPRIEDADES E
APLICAÇÕES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência dos Materiais.

Orientador: Prof. Dr. José Benaque Rubert
Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Juliana Cortez
Barbosa

Sorocaba
2019

SANTOS, THIAGO OLIVEIRA DOS

PRODUÇÃO DE BAMBU LAMINADO COLADO: PROPRIEDADES
E APLICAÇÕES / THIAGO OLIVEIRA DOS SANTOS. -- 2019.
122 f. : 30 cm.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal de São Carlos,
campus Sorocaba, Sorocaba

Orientador: José Benaque Rubert

Banca examinadora: Fábio Minoru Yamaji, Julio Cesar

Molina Bibliografia

1. Qualidade de colagem. 2. Resistência na linha de cola. 3. Rigidez. I.
Orientador. II. Universidade Federal de São Carlos. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada pelo Programa de Geração Automática da Secretaria Geral de Informática (SIn).

DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

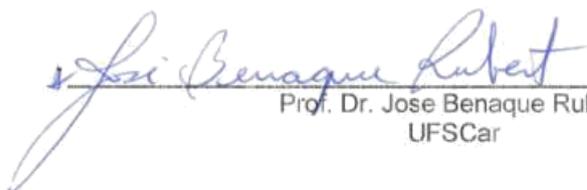
Bibliotecário(a) Responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano – CRB/8 6979

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**

Centro de Ciências e Tecnologias Para a Sustentabilidade
Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais

Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Thiago Oliveira dos Santos, realizada em 10/05/2019:



Prof. Dr. Jose Benaque Rubert
UFSCar

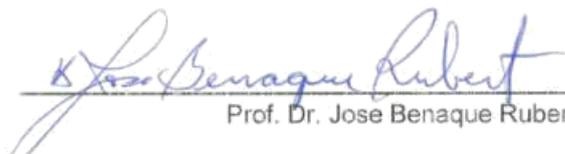


Prof. Dr. Fábio Minoru Yamaji
UFSCar

Prof. Dr. Julio Cesar Molina
UNESP



Certifico que a defesa realizou-se com a participação à distância do(s) membro(s) Julio Cesar Molina e, depois das arguições e deliberações realizadas, o(s) participante(s) à distância está(ao) de acordo com o conteúdo do parecer da banca examinadora redigido neste relatório de defesa.



Prof. Dr. Jose Benaque Rubert

“Quanto mais longe for seu sonho, menor será sua concorrência.”
(Prof. Dr. Alison Matioli)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter me dado muito força e perseverança para a conclusão de mais uma etapa em minha vida.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais da Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba-SP, por conceder a oportunidade para realização desse trabalho.

Aos meus amados pais, Aparecido e Maria Aparecida, pelo amor, carinho, preocupação, críticas e conselhos, pelos ensinamentos ao longo da minha vida e, principalmente, por acreditarem que tudo iria dar certo.

Ao meu irmão Diego Oliveira que me ajudou em diversas ocasiões e por saber que sempre posso contar com a sua ajuda.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. José Benaque Rubert, pela paciência, confiança e pelas oportunidades que me proporcionou durante o período do curso.

Agradeço a minha co-orientadora, Prof^a Dr^a Juliana Barbosa Cortez pela dedicação nas suas orientações.

Agradeço ao Prof. Dr. Julio Cesar Molina que me deu importantes conselhos que foram totalmente fundamentais para o progresso da minha pesquisa.

Agradeço a todos os meus amigos do curso de mestrado, do trabalho e de pesquisa, principalmente aos Anderson Giovani, Nivaldo Roel e Rodrigo Werneck, meus sinceros agradecimentos pelo apoio e ajuda.

Agradeço a Jéssyka Phayther, minha companheira de anos, que me incentivou nos momentos bons e, principalmente, nos momentos difíceis durante o período do curso.

Agradeço a todos, meus amigos, professores e colaboradores do Campus Experimental de Itapeva – UNESP na ajuda da elaboração da minha pesquisa.

Enfim, a todos aqueles que diretamente ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

SANTOS, Thiago Oliveira dos. Produção de bambu laminado colado: propriedades e aplicações. 2019. 113 f. Defesa de mestrado (Programa de Pós-Graduação em Ciências dos Materiais) – Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba, 2019.

Este trabalho é uma contribuição ao desenvolvimento do processamento e uso do bambu como matéria prima de forma sustentável em diversos setores da economia do país, com destaque na construção civil. O bambu processado é utilizado na confecção de laminados colados, designados por BLC, Bambu Laminado Colado, é o produto objeto do estudo. As vigas de BLC foram produzidos com o uso das espécies *Phyllostachys pubescens* e *Dendrocalamus giganteus*, e dos adesivos Poliuretano Bicomponente e Monocomponente. Corpos de prova padronizados foram confeccionados para a realização de ensaios de caracterização física e mecânica com resultados obtidos compatíveis com os de outras espécies citadas na literatura. Em seguida foram produzidas lâminas de bambu para a confecção das vigas de BLC. As vigas produzidas foram submetidas ao controle da qualidade de colagem (resistência na linha de cola e delaminação), aos ensaios de flexão estática nas vigas de BLC, à avaliação dos modos de ruptura e a comparação da rigidez experimental com o modelo teórico. Os resultados no controle da qualidade de colagem ficaram entre 25,59 e 55% no ensaio de delaminação e entre 4,66 e 6,69% no ensaio de resistência na linha de cola. Os resultados de rigidez obtidos foram comparados segundo expressão sugerida pela revisão da norma ABNT NBR 7190:2013. As diferenças entre as rigidezes experimental e teórica nas vigas de BLC produzidas com bambu *P. pubescens* e adesivos PU Bicomponente e Monocomponente foram de 20,41 e 5,00%, respectivamente. Nas vigas de BLC produzidas com bambu *D. giganteus* essa diferença entre rigidezes ficou em torno de 11% para os dois tipos de adesivos.

Palavras-chave: qualidade de colagem, delaminação, resistência na linha de cola, rigidez.

Abstract

This paper is a contribution to the process and usage development of bamboo as a raw material as a sustainable practice in several Brazilian economic fields, with emphasis on civil construction. The processed bamboo is used in the manufacture of glued laminates, designated as BLC, Bamboo Laminate Glued, is the object of object study. BLC beams were made using the plants *Phyllostachys pubescens* and *Dendrocalamus giganteus*, and with the usage of the Polyurethane Bicomponent and Monocomponent adhesives. Standardized specimens were prepared for the physical and mechanical characterization with obtained results compatible with other species mentioned in literature. Bamboo blades were then produced for the manufacture of BLC beams. The beams produced were submitted to the control of the glue quality (glue line resistance, and delamination) and to the static bending test in order to evaluate the rupture modes and to compare the experimental rigidity with the theoretical model. The results of the glue quality test ranged between 25.59 to 55% at the delamination test, and the results figured between 4.66 and 6.69% at the glue line resistance test. The rigidity was compared following standard ABNT NBR 7190: 2013 expression. The differences between the experimental and theoretical rigidity in BLC produced with bamboo *P. pubescens* and Polyurethane Bicomponent and Monocomponent adhesives were around 20.41 and 5.00%, respectively. In the BLC beams produce with *D. giganteus* bamboo this difference between rigidities was around 11% for both types of adhesives.

Keywords: collage quality, delamination, resistance in the glue line, rigidity.

FIGURA

Figura 1 - Organograma de possibilidades do bambu.	1
Figura 2 - Habitações populares de bambu na Colômbia.	2
Figura 3 - Pontes feitas de bambu: (a) Ponte localizada na China; (b) Ponte localizada na Colômbia	3
Figura 4 - Distribuição estimada de bambus por estado da Federação.	7
Figura 5 - Região do Estado do Acre com áreas nativas de <i>Guadua weberwarii</i> (manchas escuras).	7
Figura 6 - Forma cônica do colmo de bambu.	8
Figura 7 - Seção de um colmo de bambu e suas denominações.	8
Figura 8 – Floresta de Bambu Mossô na China.	10
Figura 9 – <i>Dendrocalamus giganteus</i>	11
Figura 10 - Tipos de elementos empregados na fabricação de painéis de bambu. ..	11
Figura 11 - Fluxograma de produtos obtidos a partir das ripas de bambu.	12
Figura 12 - Reação de formação do grupo uretano.	13
Figura 13 - Processo de produção do bambu industrializado.	14
Figura 14 - Processo de produção do bambu industrializado.	14
Figura 15 - Modo de produção das lâminas.	15
Figura 16 – O BLC na construção civil: (a) Tesoura; (b) Bloco de BLC; (c) Piso de BLC.	16
Figura 17 - Móveis de bambu laminado colado.	16
Figura 18 – Direções estruturais das paredes do colmo de bambu.	20
Figura 19 – Esquema do comportamento à tração paralela às fibras.	22
Figura 20 - Esquema do comportamento ao cisalhamento paralelo às fibras.	23
Figura 21 - Corpo de prova para cisalhamento paralelo às fibras.	23
Figura 22 – Esquema do comportamento à compressão paralela às fibras	24
Figura 23 – Corpo de prova para o ensaio de compressão em bambu.	25
Figura 24 - As Faces A e B da amostra são analisadas no ensaio de delaminação.	27
Figura 25 - Ensaio de flexão estática.	28
Figura 26 - Combinação de lâminas e módulos de elasticidade para viga de BLC.	30
Figura 27– Bambus utilizados: (a) Bambu Gigante (<i>Dendrocalamus giganteus</i>); (b) Bambu Mossô (<i>Phyllostachys pubescens</i>).	31
Figura 28 - Bambus utilizados para produção de BLC.	32

Figura 29 – Seccionadora de bambu: (a) Vista geral e componentes principais; (b) Corte longitudinal.	33
Figura 30 - Taliscas de bambu.	33
Figura 31 - Taliscas de bambu com sobras de diafragmas.	33
Figura 32 - Processo de retirada da parte interna de nós de bambus em taliscas de bambus.	34
Figura 33 – Lixamento das taliscas de bambu: (a) Taliscas; (b) Lixamento na parte externa de nós; (c) Talisca com os nós lixados.	34
Figura 34 - Detalhe das curvaturas internas e externas da talisca de bambu.	35
Figura 35 - Laminadora de taliscas de bambu.	35
Figura 36 - Plaina desengrossadeira.	35
Figura 37 – Configuração das lâminas na viga de BLC.	36
Figura 38 - Colagem das lâminas de bambu para produção da viga de BLC.	37
Figura 39 - Amostra na estufa de secagem.	38
Figura 40 - Amostras saturadas.	39
Figura 41 - Medidas de corpo de prova a tração paralela.	40
Figura 42 - Corpos de prova de ensaio de tração: (a) Adaptações nas extremidades para aumentar a resistência das amostras nas garras; (b) Amostra na máquina universal de ensaio.	40
Figura 43 - Ensaio de cisalhamento interlamelar.	41
Figura 44 - Medidas do corpo de prova de ensaio de cisalhamento paralelo às fibras nos bambus.	41
Figura 45 - Corpos de prova para o ensaio de cisalhamento paralelo às fibras.	42
Figura 46 - Corpos de prova compressão.	42
Figura 47 - Ensaio de compressão paralela às fibras.	43
Figura 48 - Ensaio não destrutivo de flexão em lâminas de bambu.	43
Figura 49 - Corpos de provas utilizados no ensaio de cisalhamento na linha de cola	45
Figura 50 - Ensaio de cisalhamento em linha de cola em BLC.	45
Figura 51 - Corpo de prova para cisalhamento na linha de cola.	45
Figura 52 - Dimensões de corpo de prova para o ensaio de delaminação.	46
Figura 53 - Corpos de provas para o ensaio de delaminação.	46
Figura 54 - Autoclave para ensaios de delaminação.	47
Figura 55 - Dimensões das vigas de BLC para o ensaio de flexão.	48

Figura 56 - Ensaio de flexão em viga de BLC.	48
Figura 57 – Ruptura na linha de cola no ensaio de cisalhamento na linha de cola. ...	58
Figura 58 - Esmagamento de lâmina da amostra no ensaio de cisalhamento na linha de cola.	58
Figura 59 – Rupturas ocorridas nas vigas de BLC de <i>P. pubescens</i> com PU Bicomponente.	65
Figura 60 – Rupturas ocorridas nas vigas de BLC de <i>D. giganteus</i> com PU Monocomponente.	66
Figura 61 – Rupturas ocorridas nas vigas de BLC de <i>D. giganteus</i> com PU Bicomponente.	67
Figura 62 – Rupturas ocorridas nas vigas de BLC de <i>D. giganteus</i> com PU Monocomponente.	68

TABELAS

Tabela 1 - Propriedades mecânicas do bambu, pinus e concreto.	6
Tabela 2 - Custo do plantio, crescimento e ciclo de produção do eucalipto e bambu.	9
Tabela 3 - Relação das espécies de acordo com a finalidade de uso.	9
Tabela 4 - Descrição das etapas de produção da madeira e do bambu para fabricação de piso.	15
Tabela 5 - Teor de umidade das espécies de <i>P. pubescens</i> e <i>D. giganteus</i>	50
Tabela 6 - Densidade básica das espécies em estudo e de outras espécies estudadas por outros autores.	51
Tabela 7 - Inchamento radial, transversal e axial das espécies em estudo e outras espécies pesquisadas por outros autores.	53
Tabela 8 - Anisotropia dimensional das espécies deste trabalho e outras espécies de outros pesquisadores.	54
Tabela 9 – Caracterização mecânica no bambu da espécie <i>Phyllostachys pubescens</i> a umidade de 12%.	55
Tabela 10 – Caracterização mecânica no bambu da espécie <i>Dendrocalamus giganteus</i> a umidade de 12%.	55
Tabela 11 – Resistência na linha de cola de bambus das espécies e dos adesivos deste trabalho e de outros autores.	57
Tabela 12 - Delaminação das vigas de BLC deste trabalho e de outros autores.	59
Tabela 13 - Módulo de elasticidade nas vigas de BLC deste trabalho e de outros autores.	61
Tabela 14 - Módulos de ruptura nas vigas de BLC deste estudo e de outros autores.	62
Tabela 15 - Rigidezes experimental e teórica nas vigas de <i>P. pubescens</i>	63
Tabela 16 - Rigidezes experimental e teórica nas vigas de <i>D. giganteus</i>	64
Tabela 17 – Comportamento das vigas de BLC da espécie <i>P. pubescens</i> com adesivo PU Bicomponente.	66
Tabela 18 – Comportamento das vigas de BLC da espécie <i>P. pubescens</i> com adesivo PU Monocomponente.	67
Tabela 19 – Comportamento das vigas de BLC da espécie <i>D. giganteus</i> com adesivo PU Bicomponente.	68

Tabela 20 – Comportamento das vigas de BLC da espécie <i>D. giganteus</i> com adesivo PU Monocomponente.	69
---	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 BAMBU NO MUNDO E NO BRASIL	2
1.2 JUSTIFICATIVA PARA O ESTUDO DE BAMBU LAMINADO COLADO	3
2 OBJETIVOS	5
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
3.1 MATÉRIA-PRIMA (BAMBU).....	6
3.1.1 Distribuição geográfica do bambu.....	6
3.1.2 Características do Bambu	7
3.1.3 Espécies Prioritárias	9
3.1.4.1 Bambu Mossô	10
3.1.4.2 Bambu Gigantes.....	10
3.2 BAMBU LAMINADO COLADO	11
3.2.1 Adesivos utilizados na fabricação de BLC	12
3.2.1.1 Adesivo Poliuretano.....	13
3.2.2 Processo de fabricação de bambu laminado colado.....	14
3.2.3 Comparação entre o processo de laminação de madeira e bambu.....	15
3.2.4 O uso do bambu laminado colado	15
3.3 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS.....	17
3.3.1 Propriedades físicas em bambus.....	17
3.3.1.1 Densidade	17
3.3.1.2 Teor de umidade	18
3.3.1.3 Estabilidade dimensional	19
3.3.2 Propriedades mecânicas nos bambu	21
3.3.2.1 Tração paralela às fibras	21
3.3.2.2 Cisalhamento paralelo às fibras	22
3.3.2.3 Compressão paralela às fibras	24
3.3.3 Controle da qualidade de colagem em BLC	26
3.3.3.1 Cisalhamento na linha de cola.....	26
3.3.3.2 Delaminação	26

3.3.4 Análise de Comportamento de Vigas de BLC pelo o Ensaio de Flexão	27
.....	
3.3.4.1 Ensaio de Flexão.....	27
3.3.4.2 Rigidez experimental $(EI)_{EXP}$ do elemento fletido.	29
3.3.4.3 Rigidez teórica $(EI)_{teórico}$ do elemento fletido.	29
4 METODOLOGIA.....	31
4.1 MATÉRIA PRIMA.....	31
4.2 COLETA E PROCESSAMENTO DO BAMBU.	31
4.2.1 Processamento para obtenção das lâminas de bambu.....	32
4.3 PRODUÇÃO DAS VIGAS DE BAMBU LAMINADO COLADO.....	36
4.4 PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS PARA OS ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICOS	37
4.4.1 Ensaios físicos nas espécies de bambu.....	38
4.4.1.1 Densidade básica, Teor de umidade e Estabilidade dimensional	38
4.4.2 Ensaios mecânicos nas espécies de bambu	39
4.4.2.1 Tração paralela às fibras nos bambus	40
4.4.2.2 Cisalhamento paralelo às fibras nos bambus	41
4.4.2.3 Ensaio de Compressão paralela às fibras nos bambus	42
4.4.2.4 Ensaio de Flexão nas lâminas nos bambus.....	43
4.4.3 Ensaios para controle na linha de cola nas vigas de BLC	44
4.4.3.1 Ensaio de cisalhamento na linha	44
4.4.3.2 Ensaio de delaminação	46
4.4.4 Ensaio de flexão nas vigas de BLC.....	47
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
5.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA NAS ÉSPEICES DE BAMBUS	50
5.1.1 Teor de umidade.....	50
5.1.2 Densidade	51
5.1.3 Estabilidade dimensional	52
5.1.3.1 Inchamento radial, tangencial e axial.....	52
5.1.3.2 Anisotropia dimensional de inchamento	54
5.2 CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA NAS ÉSPEICES DE BAMBUS.....	55
5.3 ENSAIOS PARA CONTROLE NA LINHA DE COLA NAS VIGAS DE BLC	57

5.3.1 Ensaio de cisalhamento na linha de cola nas vigas de BLC	57
5.3.2 Ensaio de delaminação nas vigas de BLC	59
5.4 ENSAIO DE FLEXÃO NAS VIGAS DE BLC	60
5.4.1 Módulo de elasticidade e ruptura nas vigas de BLC	60
5.4.2 Comparação da rigidez experimental com a teórica nas vigas de BLC	63
5.4.3 Rupturas nas vigas de BLC obtidas no ensaio de flexão	65
6 CONCLUSÃO	71
7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS POSTERIORES	73
8 REFERÊNCIAS	74
APÊNDICE A – Valores de Densidade básica.	81
APÊNDICE B – Valores de Estabilidade dimensional de Inchamento radial, tangencial e axial	82
APÊNDICE C – Valores de Estabilidade dimensional de Anisotropia	84
APÊNDICE D – Valores de Ensaio de delaminação nas vigas de BLC	85
APÊNDICE E – Valores de Tração paralela às fibras nos bambus	87
APÊNDICE F – Valores de Cisalhamento paralelo às fibras nos bambus	88
APÊNDICE G – Valores de Ensaio de Compressão paralela às fibras nos bambus	89
APÊNDICE H – Valores de módulo de elasticidade nas lâminas nos bambus	90
APÊNDICE I – Valores de Ensaio de cisalhamento na linha de cola nas vigas de BLC	91
APÊNDICE J – Valores de módulo de elasticidade e ruptura nas vigas de BLC.	93
APÊNDICE K – Resultados experimentais de caracterização das lâminas das vigas de BLC	95
APÊNDICE L – Valores médios e desvio padrão de caracterização mecânica das espécies de bambu e espécies pesquisadas por outros autores	106

1 INTRODUÇÃO

Trabalhos de vários profissionais mostram que o bambu está ganhando seu espaço no mercado porque engenheiros, arquitetos e pesquisadores vem indicando o uso dessa matéria-prima em seus projetos. Contudo, no Brasil, esse material ainda é conhecido como “madeira dos pobres”.

Comparado com a madeira, o bambu não precisa ser replantado e possui crescimento rápido, entre 3 a 5 anos, sendo até três vezes mais rápido que o crescimento do Pinus de reflorestamento. O bambu, como material estrutural, apresenta altos valores de resistência mecânica, principalmente na tração (na compressão é baixo) associados à leveza.

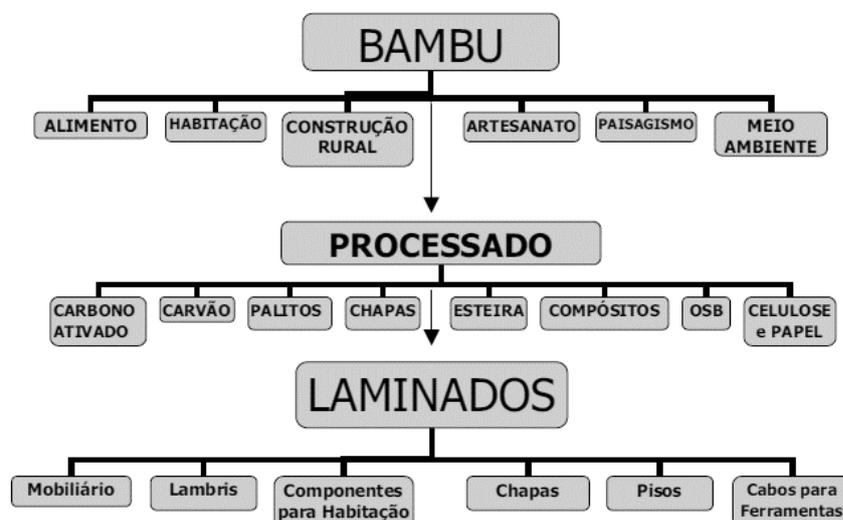
A utilização do bambu como material na construção civil oferece mais alternativas de uso para materiais lignocelulósicos (PADOVAN, 2010).

O bambu pode ser um excelente instrumento para inclusão social, pois esse material exige tecnologia com baixo investimento de capital comparado com a tecnologia utilizada no beneficiamento de madeira (BERNDSSEN, 2008).

Outra vantagem, agora para o meio ambiente, consiste no potencial de fixar mais carbono do que as árvores, de diminuir as erosões, além de ser utilizado em terrenos acidentados e em áreas degradadas (BERNDSSEN, 2008).

Pereira e Beraldo (2007) desenvolveram um organograma que exemplifica as possibilidades de áreas para o uso do bambu, conforme a Figura 1.

Figura 1 - Organograma de possibilidades do bambu.



Fonte: Pereira e Beraldo (2007).

Uma aplicação importante do bambu é na produção de bambu laminado colado, conhecido pela sigla BLC. A sua aplicação como chapa atende vários produtos construtivos, tais como: pisos em geral, mobiliários, fabricação de casas, etc.

O BLC tem grande possibilidade de aceitação no Brasil, porque o mercado de produtos de derivados de bambu é promissor, além de o material ter um forte apelo ecológico e econômico. O processo de fabricação de um modo geral não é complexo, mas apresenta uma série de particularidades específicas no processamento dos bambus. Conhecer estas particularidades auxilia a viabilizar este produto.

1.1 Bambu no mundo e no Brasil

O bambu está entre os materiais mais antigos utilizados na construção civil, registros de seu uso datam de seis mil anos (PADOVAN, 2010). Em países da Ásia, China e Índia, e alguns países da América do Sul, como a Colômbia e o Equador, o bambu encontra diversas aplicações como nas áreas de mobiliário, agricultura, alimentação, biomassa, papel e celulose e construção civil, onde é utilizado na construção de residências à prova de terremotos (Figura 2).

Figura 2 - Habitações populares de bambu na Colômbia.



Fonte: www.bioestruturas.com

A Figura 3(a) mostra um exemplo de ponte de pequeno vão localizada na China. A Figura 3(b) mostra uma ponte com vão de 52 m localizada na Colômbia.

Figura 3 - Pontes feitas de bambu: (a) Ponte localizada na China; (b) Ponte localizada na Colômbia



(a)

(b)

Fonte: (a) ecoetao.wordpress.com; (b) eficienciaenergtica.blogspot.com.br

A maior parte da tecnologia mundial de processamento de bambu se encontra na China, onde o mercado de bambu movimentou mais de US\$ 6 bilhões em 2005, o que dá uma medida da importância desse recurso na economia. Os chineses compartilham suas tecnologias em bambu com outros países assim como ocorre com o Brasil. Pode-se destacar dessa parceria o intercâmbio de material genético de bambu entre os dois países, e a capacitação de brasileiros em diversos segmentos da cadeia produtiva de bambu na China.

Por outro lado, no Brasil, o bambu tem sido pouco utilizado seja como matéria-prima no setor madeireiro ou outras aplicações mais sofisticadas. Há pouco tempo era considerado como uma praga devido a sua alta capacidade de se alastrar. Tradicionalmente é utilizado em construções agrícolas rudimentares e provisórias, e no artesanato.

Uma das principais dificuldades encontradas no emprego do bambu, particularmente na construção civil, é a falta de normas brasileiras (RIVERO; MORETON; GOMES, 2010). Quando se utiliza o bambu em construção, o usual é aplicar as normas internacionais. Além disso, o bambu possui diversas limitações para ser utilizado em construções como: geometria particular, pequena espessura e muitos nós.

1.2 Justificativa para o estudo de bambu laminado colado

O bambu é um material lignocelulósico com poucas pesquisas realizadas no Brasil. Sua aplicação no mercado nacional ainda é baixa, devido à falta de incentivo

em pesquisas para a sua utilização.

A variedade de formas e a boa resistência mecânica faz com que os BLC's sejam bons materiais alternativos no mercado de produtos laminados colados. Na China produtos laminados de bambu detêm 24% da área moveleira e da construção civil (CARDOSO JÚNIOR, 2008).

O estudo do BLC feito neste trabalho visa contribuir com a geração de dados de propriedades físicas e mecânicas de vigas de BLC produzidos com bambus das espécies *Phyllostachys pubescens* e *Dendrocalamus giganteus*.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral consistiu em aprimorar o processo de fabricação de BLC como também avaliar a qualidade de colagem, a resistência e a rigidez do produto final por meio do comportamento de vigas de BLC produzidas com bambus das espécies *Phyllostachys pubescens* e *Dendrocalamus giganteus* e adesivos Poliuretano (PU) Bicomponente e Monocomponente.

Os objetivos específicos foram:

- Adequação de equipamentos para produzir lâminas de bambu.
- Caracterização mecânica e física de espécies utilizadas para fabricação de bambu laminado colado.
- Controle dos parâmetros de processo de fabricação das vigas, como: espécie de bambu, umidade de colagem, tipo de cola, pressão de colagem, preparo da superfície, gramatura, caracterização das lâminas.
- Testes para avaliação do produto final como a avaliação de qualidade de colagem e análise mecânica da resistência e rigidez.
- Apresentar alternativas de uso para o setor florestal para estimular o crescimento tecnológico do processamento do bambu no Brasil.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Matéria-prima (bambu)

O bambu se destaca pelas suas ótimas propriedades físicas e mecânicas. Entretanto, quando se trata de processo de fabricação para o beneficiamento de bambu, esse possui uma desvantagem que é o alto teor de sílica, que diminui bruscamente a vida útil das ferramentas de corte.

As propriedades mecânicas dos bambus estão associadas à estrutura anatômica, ao teor de umidade e a massa específica (BERNDSSEN, 2008).

A Tabela 1 mostra as comparações de propriedades mecânicas e físicas entre bambu, pinus e concreto (BERALDO; AZZINI, 2004).

Tabela 1 - Propriedades mecânicas do bambu, pinus e concreto.

Característica	Bambu	Pinus	Concreto
Massa específica (kg/m ³)	580 – 700	530	24000
Tração paralela às fibras (kg/cm ²)	2400	1000	20
Compressão paralela às fibras (kg/cm ²)	1200	1200	240
Energia de produção (MJ/m ²)	30	80	240

Fonte: Beraldo e Azzini (2004).

3.1.1 Distribuição geográfica do bambu

O bambu se adapta tanto ao nível do mar como em altitudes próximas de quatro mil metros, em regiões com clima tropical e subtropical (PEREIRA NETO et al., 2009).

Com exceção da Europa, os bambus nativos são encontrados nas seguintes proporções: aproximadamente 67% na Ásia e Oceania, 30% nas Américas e 3% na África. No mundo, as áreas florestais de bambu vêm crescendo 3% em média ao ano e a China é um dos maiores produtores (MARINHO, 2012).

Um estudo detalhado sobre as quantidades presentes no território brasileiro ainda não existe. A Figura 4 mostra um estudo estimado de quantificação de bambu por cada estado brasileiro (CARDOSO JÚNIOR, 2008).

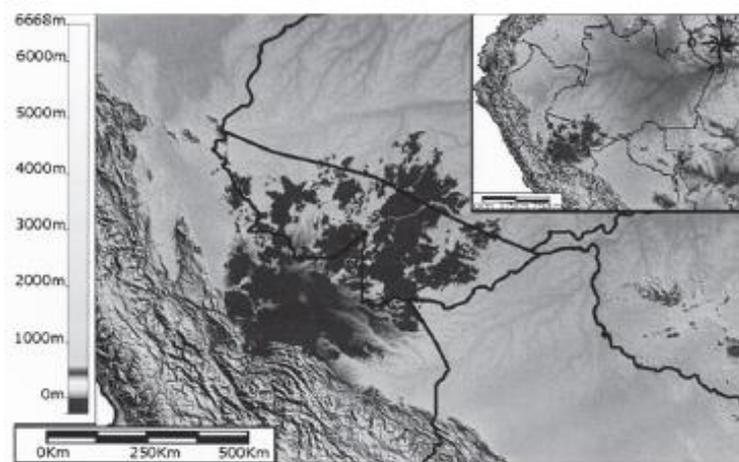
Figura 4 - Distribuição estimada de bambus por estado da Federação.



Fonte: Cardoso Júnior(2008).

A região sudoeste da Amazônia, principalmente o estado do Acre, é onde se encontra a maior concentração de bambu no Brasil. São aproximadamente sete milhões de hectares de bambu da espécie *Guadua weberwarrii* (Figura 5).

Figura 5 - Região do Estado do Acre com áreas nativas de *Guadua weberwarrii* (manchas escuras).



Fonte: Ferreira (2014).

3.1.2 Características do Bambu

As diversas espécies de bambu se adaptam muito bem ao território brasileiro. Esse fenômeno ocorre devido à predominância de climas tropical e subtropical. Ambientes estes adequados para o desenvolvimento do bambu.

Na época de maior crescimento, o bambu pode crescer entre 8 a 10 cm em

24h. Entretanto, os maiores valores de propriedades mecânicas só são alcançados quando o bambu está maduro, com idades entre 3 a 6 anos (PEIXOTO, 2008).

Os bambus possuem uma forma cônica. O diâmetro diminui da base até o topo, conforme a Figura 6. As paredes dos colmos na base dos bambus são mais grossas e do topo são mais finas.

Figura 6 - Forma cônica do colmo de bambu.

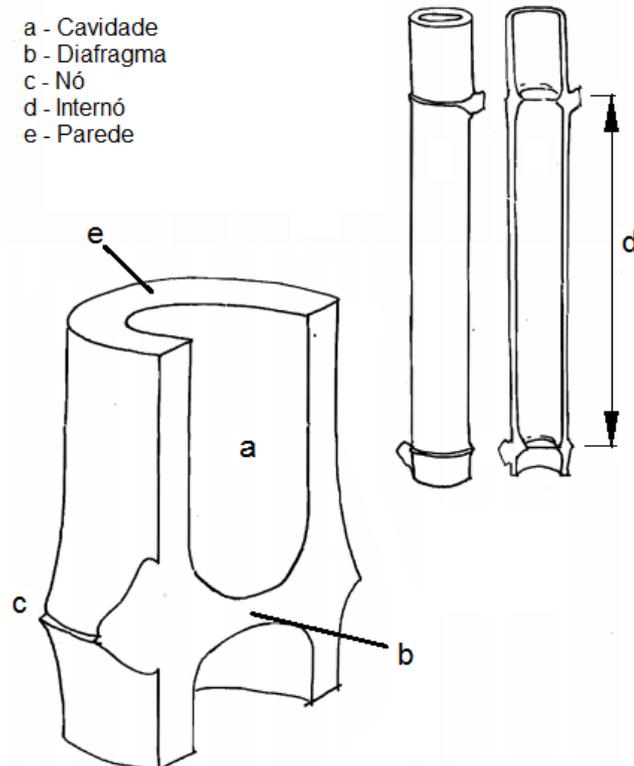


Nota: **D** = maior diâmetro na base; **d** = menor diâmetro no topo.

Fonte: Vasconcellos (2004).

As partes do colmo do bambu são constituídas por cavidade, nós, internós, diafragma e parede (Figura 7).

Figura 7 - Seção de um colmo de bambu e suas denominações.



Fonte: Janssen (1981).

Na Tabela 2, apresenta-se o comparativo entre a madeira de eucalipto e o bambu quanto ao custo de plantio, crescimento e ciclo de produção. Observa-se que

o bambu possui uma ótima relação custo-benefício nas variáveis consideradas.

Tabela 2 - Custo do plantio, crescimento e ciclo de produção do eucalipto e bambu.

Material	Custo do plantio por hectare	Rendimento	Período de produção
Eucalipto	US\$ 300-400	12 a 16 t/ha/ano	20 anos (aprox. 3 cortes)
Bambu	US\$ 200-250	20 a 30 t/ha/ano	60 a 120 anos

Fonte: Padovan (2010).

3.1.3 Espécies Prioritárias

As espécies mais comercializadas pertencem aos gêneros *Bambusa*, *Dendrocalamus* e *Phyllostachys*. As menos significativas no mercado são as *Gigantochloa*, *Melocanna* e *Guadua* (OLIVEIRA, 2006).

No Brasil a maior parte das espécies nativas de bambu são classificadas como ornamentais e as que mais se destacam no país são dos gêneros *Bambusa*, *Dendrocalamus*, *Gigantochloa*, *Guadua*, *Phyllostachys*, *Pseudosasa*, *Sasa* e *Sinoarundinaria* (FILGUEIRAS; GONÇALVES, 2004).

O Bambu Mossô (*Phyllostachys pubescens*) foi trazido pelos japoneses ao Brasil e concentra-se principalmente no Estado de São Paulo. Esse bambu é utilizado como planta de paisagismo e muito empregado na culinária japonesa por conta de seus brotos (PADOVAN, 2010).

A Tabela 3 relaciona as principais espécies de bambu comercializadas com a sua finalidade de uso (PEIXOTO, 2008).

Tabela 3 - Relação das espécies de acordo com a finalidade de uso.

Finalidade	Espécies
Álcool	<i>Bambusa vulgaris</i> , <i>Bambusa vulgaris</i> var. <i>vittata</i> e <i>Guadua flabellata</i>
Celulose	<i>Bambusa vulgaris</i> , <i>Bambusa vulgaris</i> var. <i>vittata</i> , <i>Dendrocalamus giganteus</i> e <i>Phyllostachys bambusoides</i>
Alimentação	<i>Dendrocalamus giganteus</i> , <i>Dendrocalamus latiflorus</i> , <i>Dendrocalamus asper</i> , <i>Bambusa tuldoides</i> e <i>Phyllostachys bambusoides</i>
Construção	<i>Guadua</i> sp., <i>Dendrocalamus giganteus</i> , <i>Dendrocalamus asper</i> , <i>Bambusa tuldoides</i> , <i>Bambusa tulda</i> e <i>Phyllostachys</i> sp.
Ornamental	<i>Bambusa gracilis</i> , <i>Thysostachys siamensis</i> , <i>Phyllostachys nigra</i> , <i>Phyllostachys purpurata</i> , <i>Arundinária amabilis</i> , etc.

Fonte: PEIXOTO (2008).

As espécies mais adequadas para produção de BLC são: *Dendrocalamus giganteus* (bambu gigante), *Bambusa vulgaris*, *Guadua angustifolia*, *Gigantochloa apus*, *Phyllostachys pubescens* e *Dendrocalamus atiflorus*. No Brasil, as mais utilizadas na produção de BLC são as do gênero *Dendrocalamus*, *Guadua*, *Phyllostachys* (MOIZÉS, 2007).

3.1.4.1 Bambu Mossô

O bambu da espécie *Phyllostachys pubescens* (Figura 8) é uma planta de clima temperado. É empregado em diversos seguimentos produtivos, como no setor de acabamentos, pisos, forros e carvão.

Figura 8 – Floresta de Bambu Mossô na China.



Fonte: Berndsen (2008).

O bambu Mossô é a espécie mais importante na China, ocupando cerca de 2% da área florestal desse país, e é utilizado principalmente na produção de painéis de BLC (OSTAPIV, 2007).

3.1.4.2 Bambu Gigantes

O bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus* (Figura 9) pode ter uma altura acima de 35 m e diâmetro de até 35 cm (PADOVAN, 2010).

Figura 9 – *Dendrocalamus giganteus*.



Fonte: Padovan (2010).

O *Dendrocalamus giganteus* é uma das espécies de bambu que mais se adaptou ao território brasileiro. Essa espécie é uma excelente matéria-prima para manufatura com bambu (PEREIRA; GARBINO, 2003).

3.2 Bambu laminado colado

Os painéis de bambu possuem diversas definições para cada aplicação conforme o país de origem. O bambu laminado colado é conhecido na China como *Laminated Bamboo Lumber* (LBL), ou também pode ser chamado de *Pluboo* (CARDOSO JÚNIOR, 2008).

Os painéis de bambu são produzidos a partir de derivados de bambu como lâminas, lascas, ripas e partículas (Figura 10) unidas com a utilização de adesivos sobre pressão (MOIZÉS, 2007).

Figura 10 - Tipos de elementos empregados na fabricação de painéis de bambu.

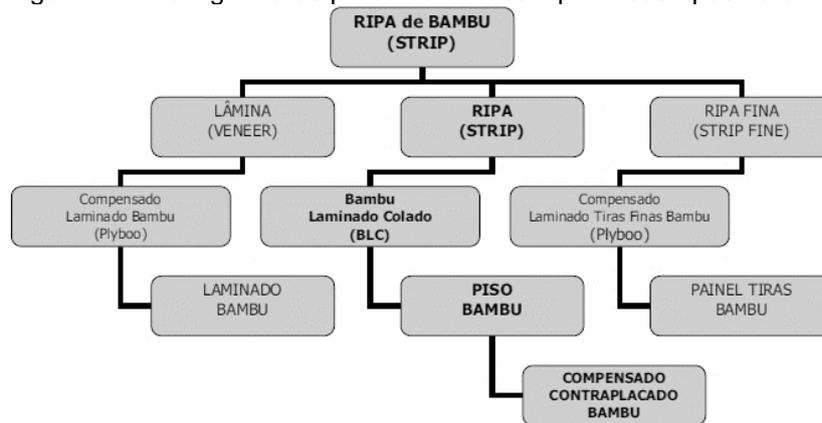


Fonte: Moizés (2007).

O crescimento da produção de painéis de bambu está associado a preocupação global com a preservação ambiental, ele estimula o desenvolvimento de novas tecnologias para aproveitamento de insumos do bambu (LIMA et al., 2014).

As propriedades físicas, mecânicas e estruturais dos painéis de bambu estão relacionadas com o tamanho e o formato dos seus constituintes (MARINHO, 2012). A Figura 11 mostra as aplicações derivadas do uso das tiras de bambu.

Figura 11 - Fluxograma de produtos obtidos a partir das ripas de bambu.



Fonte: Cardoso Júnior (2008).

3.2.1 Adesivos utilizados na fabricação de BLC

Para que o processo de colagem seja bem sucedido são necessários conhecimentos técnicos sobre o adesivo, material e processo (CARDOSO JUNIOR, 2008). O adesivo utilizado no bambu é análogo ao utilizado na madeira. As principais variáveis no processo de colagem das lâminas de bambu são a pressão e a quantidade de adesivo empregado, que pode ser de aproximadamente 250 g/m² (LIMA et al., 2014).

O nível de pressão usado na colagem depende da rigidez do material prensado. Para bambus da espécie *Phyllostachys pubescens*, a pressão ideal de colagem está entre 2,5 e 5 MPa (CARRASCO; SMITH; MANTILHA, 2018) e chegou a 6,2 MPa na espécie *Dendrocalamus giganteus* (LIMA et al., 2014). Para laminados colados de madeira os valores podem variar entre 0,7 e 1,5MPa (PFEIL; PFEIL, 2003).

A pressão na colagem dos laminados de bambu deve ser controlada, pois pressões muito altas podem danificar o emprego do adesivo e esmagar as estruturas celulares do bambu por compressão normal às fibras.

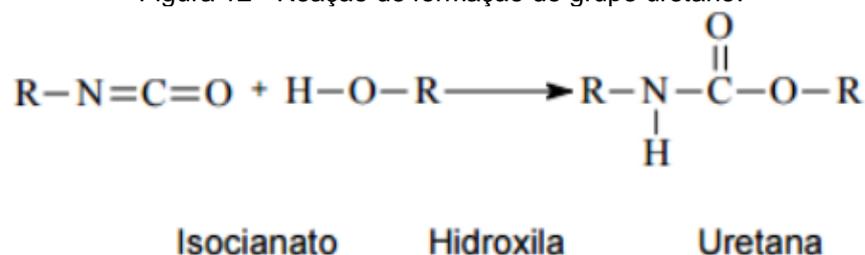
A boa aplicação dos adesivos considera os seguintes aspectos (PEIXOTO, 2008):

- a) A estrutura anatômica, a porosidade, a densidade e os anéis de crescimento (este último para o caso específico da madeira);
- b) Anisotropia dimensional: manifestada pelas diferenças entre as propriedades físico-mecânicas, medidas ao longo da árvore (ou bambu), uma característica importante a ser considerada no projeto das ligações;
- c) O teor de umidade da madeira e do bambu, pois a durabilidade das ligações adesivas é afetada por mudanças no teor de umidade, que por sua vez, implica em alterações nas dimensões da peça;
- d) A resistência a esforços estáticos e dinâmicos;
- e) A variação dimensional e distribuição dos nós (no caso do bambu) e;
- f) A natureza da superfície a ser colada, rugosidade, textura, capacidade de absorção, etc.

3.2.1.1 Adesivo Poliuretano

Os adesivos poliuretanos são polímeros termofixos formados pelo grupo uretano que é a reação de compostos hidroxilas com isocianato, conforme Figura 12 (VILAR, 2004).

Figura 12 - Reação de formação do grupo uretano.



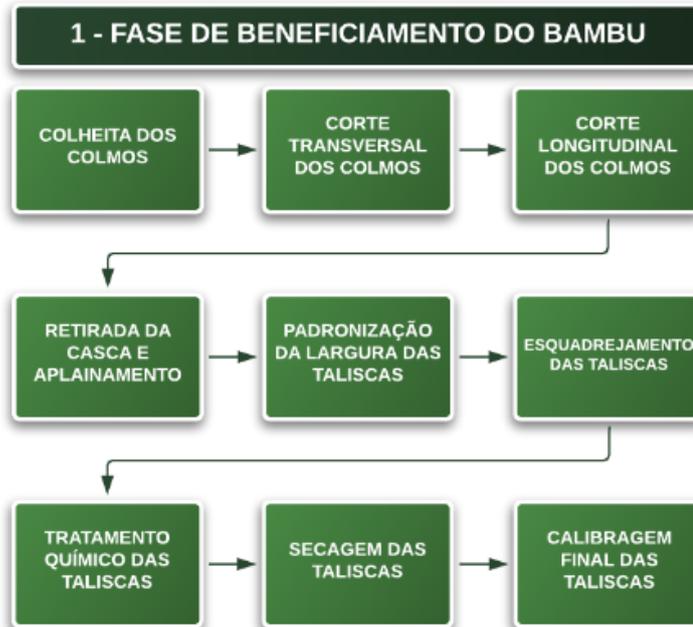
Fonte: Vilar (2004).

Os adesivos poliuretanos apresentam diversas vantagens como elevada resistência da linha de cola, cura à temperatura ambiente, resistência à umidade e à fadiga. As desvantagens desses adesivos são a limitada estabilidade térmica, manuseio, alto custo e necessidade de mistura nos casos dos adesivos poliuretanos bicomponentes (LOPES et al., 2013).

3.2.2 Processo de fabricação de bambu laminado colado

O processo de fabricação de bambu laminado colado pode ser dividido em duas fases, conforme as Figuras 13 e 14 (ORTHEY; BARAUNA; RAZERA, 2016).

Figura 13 - Processo de produção do bambu industrializado.



Fonte: Orthey, Barauna, Razera (2016).

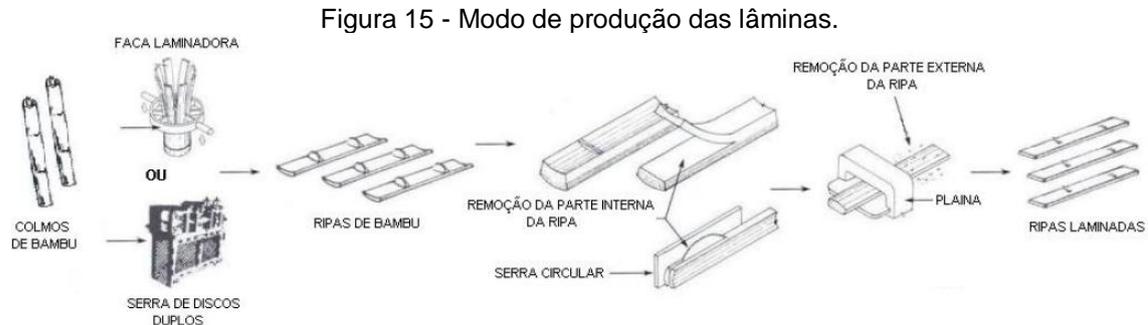
Figura 14 - Processo de produção do bambu industrializado.



Fonte: Orthey, Barauna, Razera (2016).

Estudos mostraram que o corte de bambu por serramento não é vantajoso devido ao rápido desgaste dos dentes da lâmina provocado pela grande quantidade de sílica presente na planta e a elevada geração de resíduos. Por outro lado, o corte por fendilhamento mostrou bons resultados, devido a redução da área de contato entre bambu e ferramenta.

A Figura 15 apresenta, resumidamente, como são produzidas as lâminas de bambu utilizadas na produção de BLC.



Fonte: Peixoto (2008).

3.2.3 Comparação entre o processo de laminação de madeira e bambu

A comparação entre os processos de laminação da madeira e do bambu é apresentada na Tabela 4. Essa comparação é baseada na produção desses materiais, separadas em operações primárias e secundárias (CARDOSO JÚNIOR, 2008).

Tabela 4 - Descrição das etapas de produção da madeira e do bambu para fabricação de piso.

TIPO	MADEIRA	BAMBU
OPERAÇÕES PRIMÁRIAS	1) Corte	1) Seleção e colheita dos Colmos
	2) Descascamento	2) Transporte
	3) Chegada à indústria*	3) Secagem
	4) Desdobramento principal	4) Estocagem
	5) Refilamento	5) Cortes longitudinais
	6) Gradeamento	6) Aparentamento longitudinais
	7) Secagem e armazenagem	7) Tratamento
OPERAÇÃO SECUNDÁRIAS	8) Desengrosso	8) Armazenagem
	9) Refilamento	9) Colagem
	10) Aparentamento longitudinal	10) Prensagem
	11) Aparentamento transversal	11) Usinagem
	12) Lixamento e acabamento	12) Lixamento
	13) Embalagem	13) Acabamento
		14) Embalagem

Fonte: Cardoso Júnior (2008).

Nota: *geralmente as madeiras de florestas plantadas precisam de tratamento; na maioria das nativas, dependendo do uso, ele pode ser dispensado.

3.2.4 O uso do bambu laminado colado

O BLC talvez seja a aplicação mais promissora dos derivados de bambu no

mercado (PEREIRA; BERALDO, 2007). Esses materiais podem assumir diferentes formatos, possibilitando seu emprego em móveis, painéis, revestimentos, forração, esquadrias, molduras e pisos (BERNDSSEN, 2008). A Figura 16 destaca alguns exemplos de aplicação do BLC.

Figura 16 – O BLC na construção civil: (a) Tesoura; (b) Bloco de BLC; (c) Piso de BLC.



(a) (b) (c)
Fonte: www.sitiodamata.com.br

Pisos de BLC são aceitos no mercado por possuírem elevada resistência a abrasão e durabilidade. Outra área em destaque é a moveleira pela versatilidade do BLC (MOIZÉS, 2007). A Figura 17 mostra móveis planejados de BLC empregados em cozinhas residenciais.

Figura 17 - Móveis de bambu laminado colado.



Fonte: Berndsen (2008).

3.3 Propriedades físicas e mecânicas

As propriedades físicas e mecânicas do bambu estão relacionadas com os tipos de espécie, condições climáticas, silvicultura, idade de corte, teor de umidade, posição da amostra com relação ao colmo, presença ou ausência de nós nas amostras testadas e tipo de teste aplicado (RIVERO; MORETON; GOMES, 2010).

3.3.1 Propriedades físicas em bambus

3.3.1.1 Densidade

A densidade é a propriedade física mais importante a ser considerada nos bambus, pois determina as suas características mecânicas, como a resistência a tração (MOTA et al., 2017). Além disso, influencia no processo de colagem, bambus mais densos apresentam maior dificuldade de colagem.

A massa específica é menor nas camadas internas e nas extremidades, e maior nas camadas externas e na sua base (OSTAPIV, 2007).

Os bambus na faixa de idade entre 1 e 5 anos possuem relação direta entre a massa específica e a idade. Entretanto, quando a maturidade é atingida, aproximadamente aos seis anos de idade, a variação da massa específica é praticamente desconsiderada (PEREIRA; BERALDO, 2007).

A densidade básica nos bambus é calculada pela relação de sua massa seca e de seu volume saturado (BERNDSSEN, 2010). A determinação da densidade básica nos bambus é calcula pela Equação 1:

$$D_{bás} = \frac{M_{seca}}{V_{saturado}} \quad (1)$$

Onde:

$D_{bás}$ – Densidade básica (g/cm³);

M_{seca} – Massa seca (g);

$V_{saturado}$ – Volume saturado (cm³).

A densidade aparente é a relação entre a massa e o volume de corpos de

prova com teor de umidade a 12%, conforme a norma de madeira ABNT NBR 7190:1997. A determinação da densidade básica nos bambus é calcula pela Equação 2:

$$D_{aparente} = \frac{M_{12}}{V_{12}} \quad (2)$$

Onde:

$D_{aparente}$ – Densidade básica (g/cm³);

M_{12} – Massa da madeira a 12% de umidade (g);

V_{12} – Volume da madeira a 12% de umidade (cm³).

3.3.1.2 Teor de umidade

O teor de umidade é a relação entre a massa de água contida no bambu e a massa do bambu seco. É uma variável muito importante por estar associada às propriedades mecânicas do bambu (BERNDSSEN, 2008).

O teor de umidade nos bambus influência nas propriedades mecânicas quando se encontra abaixo do ponto de saturação. Acima dos 28% as propriedades mecânicas variam de forma menos significativa.

Os bambus são sensíveis ao contato com a água. Assim, os bambus precisam de maior controle quando são utilizados com outros materiais, como o concreto, ou na exposição à chuva e à umidade (PADOVAN, 2010).

A determinação do teor de umidade nos bambus pode ser calculada pela Equação 3, conforme a norma de madeira ABNT NBR 7190:1997.

$$U\% = \frac{(M_{úmida} - M_{seca})}{M_{seca}} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

$U\%$ – Teor de umidade (%);

M_{seca} – Massa seca (g);

$M_{úmida}$ – Massa úmida (g).

A norma de madeira, ABNT NBR 7190:1997, estabelece um valor padrão para o teor de umidade de 12%. Quando as propriedades de resistência e rigidez são obtidas em ensaios mecânicos de amostras com teores de umidade diferentes

de 12%, mas entre 10% e 20%, a correção desses valores deverá ser feita utilizando as equações 4 e 5.

$$f_{12} = f_{U\%} \left[1 + \frac{3(U\% - 12)}{100} \right] \quad (4)$$

$$E_{12} = E_{U\%} \left[1 + \frac{2(U\% - 12)}{100} \right] \quad (5)$$

Onde:

f_{12} - Resistência do corpo de prova com umidade aparente de 12%;

$f_{U\%}$ - Resistência do corpo de prova com umidade aparente no momento do ensaio;

E_{12} - A rigidez do corpo de prova com umidade aparente de 12%;

$E_{U\%}$ - A rigidez do corpo de prova com umidade aparente no momento do ensaio;

$U\%$ - A umidade aparente do corpo de prova.

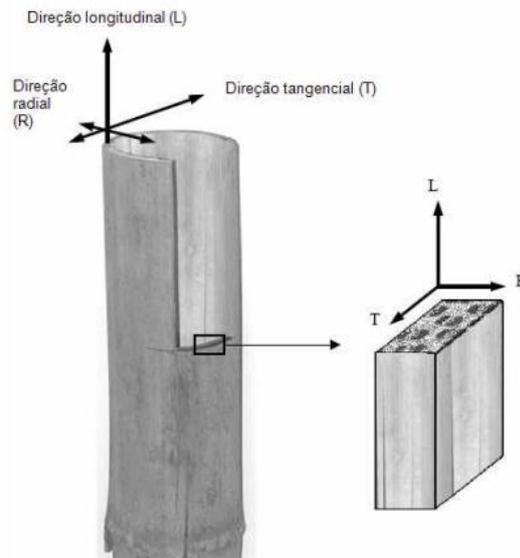
3.3.1.3 Estabilidade dimensional

O bambu é um material higroscópico, pois apresenta variações dimensionais devido à rápida absorção e/ou liberação de água (PADOVAN, 2010).

A estabilidade dimensional é crucial na fabricação de produtos laminados colados produzidos com matéria-prima de base florestal (BENDSEN, 2008). O controle da estabilidade dimensional evita deformações indesejáveis nos materiais lignocelulósicos (MARINHO, 2012).

O bambu é um material ortótropo, ou seja, tem as suas propriedades mecânicas influenciadas pelo eixo de trabalho nas direções longitudinal, tangencial e radial, conforme a Figura 18.

Figura 18 – Direções estruturais das paredes do colmo de bambu.



Fonte: Ahmad (2000).

No cálculo da estabilidade dimensional, a norma ABNT NBR 7190:97 considera o inchamento do bambu nas três direções estruturais das paredes do colmo de bambu dado pelas equações 6, 7 e 8:

Inchamento radial:

$$\varepsilon_R = \left(\frac{L_{R,sat} - L_{R,seca}}{L_{R,seca}} \right) \times 100 \quad (6)$$

Onde:

ε_R – Inchamento radial (%);

$L_{R,seca}$ – Medida da espessura da parede na amostra seca (mm);

$L_{R,sat}$ – Medida da espessura na amostra úmida (mm).

Inchamento tangencial:

$$\varepsilon_T = \left(\frac{L_{T,sat} - L_{T,seca}}{L_{T,seca}} \right) \times 100 \quad (7)$$

Onde:

ε_T – Inchamento transversal (%);

$L_{T,seca}$ – Medida da largura na amostra seca (mm);

$L_{T,sat}$ – Medida da largura na amostra úmida (mm).

Inchamento axial:

$$\varepsilon_A = \left(\frac{L_{A,sat} - L_{A,seca}}{L_{A,seca}} \right) \times 100 \quad (8)$$

Onde:

ε_A – Inchamento axial (%);

$L_{T,seca}$ – Medida do comprimento na amostra seca (mm);

$L_{T,sat}$ – Medida do comprimento na amostra úmida (mm).

Anisotropia dimensional é o inchamento ou contração desigual nos sentidos estruturais anatômicos radial, tangencial e axial (LIMA; AFONSO; PONTES, 2012). A anisotropia dimensional de inchamento (A_i), pode ser determinada através da Equação 9:

$$A_i = \frac{\varepsilon_T}{\varepsilon_R} \quad (9)$$

3.3.2 Propriedades mecânicas nos bambu

3.3.2.1 Tração paralela às fibras

A elevada resistência à tração paralela às fibras é a propriedade mecânica que mais se destaca nos bambus se comparado as espécies de madeira. A ruptura das fibras nessa condição ocorre por deslizamento entre as fibras ou pelo rompimento das paredes. Nos dois casos as amostras de bambu apresentam baixos valores de deformação e altos valores de resistência (LIMA, 2013).

Os valores de tração paralela às fibras são determinados, conforme a norma ABNT NBR 7190:1997, pela máxima tensão de tração que atua em uma amostra com uma seção transversal uniforme de área, conforme a Equação 10:

$$f_{t0} = \frac{F_{to,máx}}{A} \quad (10)$$

Onde:

f_{to} – Resistência à tração paralela às fibras (MPa);

$F_{to,máx}$ – Máxima força de tração aplicada ao corpo de prova durante o ensaio (N) ;

A – Área inicial da seção transversal tracionada do trecho central do corpo de prova (mm^2).

A Figura 19 esquematiza como é a atuação da força nas fibras no ensaio de tração paralela às fibras.

Figura 19 – Esquema do comportamento à tração paralela às fibras.



Fonte: Lima (2013).

Os corpos de prova para o ensaio de tração devem possuir dimensões maiores nas extremidades para garantir a ruptura no trecho central. Quando o rompimento ocorre fora da área central se recomenda descartar os resultados obtidos (CARBONARI et al., 2017).

A resistência a tração paralela às fibras pode ser influenciada consideravelmente pela presença de nós, pois há concentração de tensões. Essa situação ocorre devido ao desvio lateral dos feixes de fibras. Assim, os melhores valores estão nas regiões internós (MOTA et al., 2017).

3.3.2.2 Cisalhamento paralelo às fibras

Os valores de resistência ao cisalhamento longitudinal às fibras dos bambus são limitados, pois as fibras são unidas por elementos naturais colantes. Assim, podem surgir fissuras por cisalhamento, o que causa um grande problema em bambus usados como estruturas (PADOVAN, 2010).

Os valores de cisalhamento são determinados, conforme a norma ABNT NBR 7190:1997, pela máxima tensão de cisalhamento que atua em uma amostra com uma seção crítica, conforme a Equação 11:

$$f_{v0} = \frac{F_{v0,m\acute{a}x}}{A} \quad (11)$$

Onde:

f_{v0} – Resistência ao cisalhamento (MPa);

$F_{v0,m\acute{a}x}$ – Máxima força de cisalhamento aplicada ao corpo de prova durante o ensaio (N) ;

A – Área inicial da seção crítica do corpo de prova, em um plano paralelo às fibras(mm²).

A Figura 20 esquematiza como é a atuação da força nas fibras das amostras de bambu no ensaio de cisalhamento paralelo às fibras.

Figura 20 - Esquema do comportamento ao cisalhamento paralelo às fibras.



Fonte: Ritter (1990).

Os resultados dos ensaios de cisalhamento nos bambus podem ser influenciados pela presença de nós nas amostras, como ocorre nas amostras para o ensaio de resistência à tração paralela às fibras.

Os valores de cisalhamento paralelo às fibras nos bambus são determinados utilizando corpos de prova com dois cortes, conforme de Figura 21.

Figura 21 - Corpo de prova para cisalhamento paralelo às fibras.



Fonte: Murad (2011).

3.3.2.3 Compressão paralela às fibras

Os maiores valores de resistência a compressão ocorrem na direção paralela às fibras. Nos ensaios, a ruptura ocorre no material ligante da estrutura anatomica dos bambus e também por flambagem (perda de estabilidade) das fibras (LIMA, 2013). O esquema na Figura 22 ilustra a atuação da força nas fibras no ensaio de compressão paralela às fibras.

Figura 22 – Esquemado comportamento à compressão paralela às fibras



Fonte: Lima (2013).

O valor da resistência à compressão é determinado conforme a norma ABNT NBR 7190:1997, pela máxima tensão de compressão que atua em uma área da amostra, conforme a Equação 12:

$$f_{co} = \frac{F_{co,máx}}{A} \quad (12)$$

Onde:

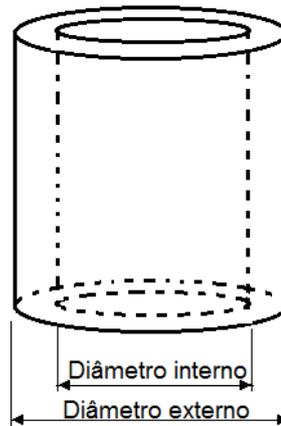
f_{co} – Resistência à compressão paralela às fibras (MPa);

$F_{co,máx}$ – Máxima força de compressão aplicada ao corpo de prova durante o ensaio (N);

A – Área inicial da seção transversal comprimida do corpo de prova (mm²).

O corpo de prova utilizado para o ensaio de compressão em bambus tem o formato conforme a Figura 23.

Figura 23 – Corpo de prova para o ensaio de compressão em bambu.



Fonte: Próprio autor.

As equações 13 e 14 são utilizadas para a determinação da área da seção transversal a ser comprimida pela força de compressão no corpo de prova.

O diâmetro interno foi calculado pela seguinte equação:

$$DI = \text{Diâmetro externo} - (2 \times \text{espessura média}) \quad (13)$$

A área usada para o cálculo de tensões é dada pela seguinte equação:

$$\begin{aligned} \text{Área útil} &= \text{Área do círculo diâ. externo} - \text{Área de círculo diâ. interno} \\ \text{Área útil} &= (3,14 \times (\text{raio externo})^2) - (3,14 \times (\text{raio interno})^2) \end{aligned} \quad (14)$$

A presença ou não de nós nos corpos de prova é um fator que influencia nos ensaios de compressão em bambus (PADOVAN, 2010).

A maior influência dos nós é na direção perpendicular às fibras do colmo de bambu, quando as cargas são concentradas, podendo chegar a 45% a mais nos valores de compressão comparado às seções sem nós. Já na situação com carga de compressão paralela às fibras, a resistência pode chegar a 8% a mais das seções dos colmos sem os nós (MOTA et al, 2017).

3.3.3 Controle da qualidade de colagem em BLC

3.3.3.1 Cisalhamento na linha de cola

A transmissão da carga nas ligações adesivas em laminados se dá, predominantemente, pelo esforço de cisalhamento, de modo que a resistência ao cisalhamento na linha de cola resulta ser uma propriedade importante na efetividade das ligações por adesivos na direção das fibras (LAPO; BERALDO, 2008).

Os valores de resistência na linha de cola são determinados, conforme a proposta de revisão da norma ABNT NBR 7190:2013, pela máxima tensão de cisalhamento que atua na lâmina de cola da amostra, conforme a Equação 15:

$$f_{gv} = \frac{F_{vo,máx}}{A_{gv,0}} \quad (15)$$

Onde:

f_{gv} – Resistência ao cisalhamento na linha de cola (MPa);

$F_{vo,máx}$ – Máxima força cisalhante aplicada ao corpo de prova durante o ensaio (N) ;

A – Área inicial da lâmina de cola do corpo de prova, em um plano paralelo às fibras (mm²).

3.3.3.2 Delaminação

A delaminação surge na proposta de revisão da norma ABNT NBR 7190:2013. O ensaio de delaminação consiste em avaliar a eficiência dos adesivos em laminados quando são exigidos resistência à umidade, temperatura e pressão (FIORELLI; DIAS, 2005).

Os valores de delaminação são dados pela relação entre o comprimento máximo de delaminação (fendas) de uma linha de cola e o comprimento da linha de cola (FIORELLI; DIAS, 2005). A delaminação é calculada pela Equação 16.

$$\%D.T. = \frac{L_{totaldelam.}}{L_{totalinhadecola}} \times 100 \quad (16)$$

Onde:

$\%D.T.$ – Porcentagem de delaminação total;

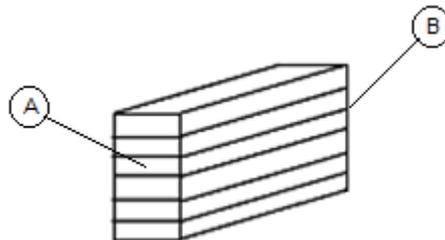
$L_{tot,delam.}$ - Comprimento total das fendas de delaminação;

$L_{total\ linha\ de\ cola}$ - Comprimento total das linhas de cola.

Para determinar o comprimento total das fendas de delaminação é necessário somar os comprimentos individuais de delaminação. O mesmo é feito para determinar o comprimento total nas linhas de cola (FIORELLI; DIAS, 2005). Os valores de delaminação devem ficar no intervalo entre 4% e 6% do comprimento de cola para madeiras de coníferas e folhosas, respectivamente (ROSA et al., 2016).

A análise do ensaio de delaminação é feita nas faces transversais do corpo de prova, conforme a Figura 24.

Figura 24 - As Faces A e B da amostra são analisadas no ensaio de delaminação.



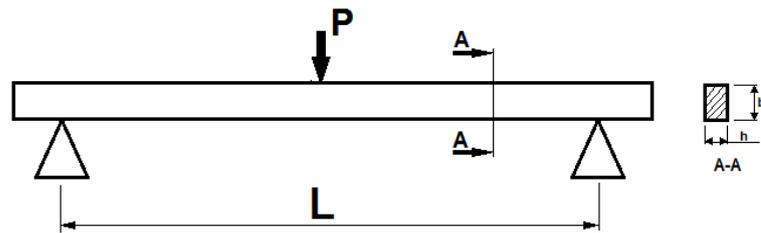
Fonte: Próprio autor.

3.3.4 Análise de Comportamento de Vigas de BLC pelo o Ensaio de Flexão

3.3.4.1 Ensaio de Flexão

O ensaio de flexão estática consiste em aplicar uma carga na metade do comprimento da amostra, que repousa sobre dois apoios, conforme a Figura 25. Esse ensaio permite obter as tensões e deformações causadas no corpo de prova até a sua ruptura (BERNDSSEN, 2008).

Figura 25 - Ensaio de flexão estática.



Fonte: Berndsen (2008).

Os valores de resistência à flexão são determinados, conforme a norma ABNT NBR 7190:1997, pela máxima tensão que pode atuar no corpo de prova no ensaio de flexão simples, conforme a Equação 17:

$$f_M = \frac{M_{m\acute{a}x}}{W_e} \quad (17)$$

Onde:

f_M – Resistência à flexão simples;

$M_{vo,m\acute{a}x}$ – Máximo momento fletor aplicado ao corpo de prova durante o ensaio (Equação 18);

W_e – Módulo de resistência elástico da seção transversal do corpo de prova (Equação 19).

$$M_{vo,m\acute{a}x} = \frac{PL}{4} \quad (18)$$

$$W_e = \frac{bh^2}{6} \quad (19)$$

Onde:

P – Força concentrada aplicada no corpo de prova;

L – Vão de apoio da peça;

B – Largura do corpo de prova;

h – Altura do corpo de prova.

A rigidez de uma peça à flexão é determinada pelo módulo de elasticidade obtido por meio do trecho linear do diagrama carga x deslocamento.

A inclinação da reta secante à curva carga x deslocamento que passa pelos pontos de 10% e 50% da carga máxima de ensaio, fornece o módulo de elasticidade utilizando a Equação 20:

$$E_{M0} = \left(\frac{F_{M,50\%} - F_{M,10\%}}{v_{50\%} - v_{10\%}} \right) \times \frac{L^3}{4bh^3} \quad (20)$$

Onde:

E_{M0} – Módulo de elasticidade à flexão;

$F_{M,10\%}$ e $F_{M,50\%}$ são as cargas correspondentes a 10% e 50% da carga máxima estimada, aplicada ao corpo de prova;

$v_{10\%}$ e $v_{50\%}$ são os deslocamentos no meio do vão correspondentes a 10% e 50% da carga máxima;

b e h correspondem, respectivamente, à largura e à altura da seção transversal do corpo de prova.

3.3.4.2 Rigidez experimental $(EI)_{EXP}$ do elemento fletido.

A rigidez experimental de vigas de BLC $(EI)_{EXP}$ é obtida por meio da Equação 21.

$$(EI)_{exp} = \frac{PL^3}{48 \delta} \quad (21)$$

Onde:

$(EI)_{EXP}$ – Rigidez à flexão do elemento estrutural;

P – Força P no segmento linear da curva $P \times \delta$ aplicada no meio do vão dentro do regime de serviço.

δ – Flecha correspondente à força P .

L – Distância entre apoios.

3.3.4.3 Rigidez teórica $(EI)_{teórico}$ do elemento fletido.

A proposta de revisão da norma ABNT NBR 7190:2013 propõe calcular valores próximos da rigidez experimental de uma viga laminada colada obtidos nos ensaios de flexão simples por meio de um modelo de cálculo teórico (Equação 22).

O modelo de cálculo exige apenas os valores de módulo de elasticidade de cada lâmina que forma a viga laminada colada.

$$(EI)_{teórico} = \left[2 \cdot E_{M,S} \cdot I_{(1/4)} + E_{M,I} \cdot I_{(1/2)} \right] \quad (22)$$

Onde:

$(EI)_{teórico}$ – Rigidez à flexão do elemento estrutural;

$E_{M,S}$ – Valor médio dos módulos de elasticidade do lote de valores superior;

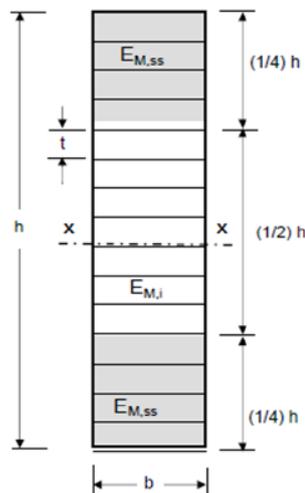
$E_{M,I}$ – Valor médio dos módulos de elasticidade do lote de valores inferior;

$I_{(1/4)}$ – Momento de inércia da quarta parte mais afastada, em relação ao eixo baricêntrico (x);

$I_{(1/2)}$ – Momento de inércia da metade central da seção transversal, em relação ao eixo baricêntrico (x).

A classificação mecânica é realizada por meio dos valores de módulo de elasticidade de cada lâmina agrupados em um lote superior ($E_{M,S}$) e outro lote inferior ($E_{M,I}$), conforme a Figura 26. O lote superior é formado por lâminas de maior módulo de elasticidade e o lote inferior é formado por lâminas de menor módulo de elasticidade. O lote superior forma as quartas partes mais afastadas do eixo central, pois é a região sujeita às maiores tensões na viga. O lote inferior forma a metade central da seção transversal das vigas (GOMES, 2018).

Figura 26 - Combinação de lâminas e módulos de elasticidade para viga de BLC.



Fonte: ABNT NBR 7190:2013 (Versão de revisão)

4 METODOLOGIA

4.1 Matéria prima

Para a realização deste trabalho foram utilizadas duas espécies de bambu, o *Dendrocalamus giganteus* (Figura 27a) e o *Phyllostachys pubescens* (Figura 27b), e dois tipos de adesivos, o PU Bicomponente a base de mamona da empresa Kehl e o PU Monocomponente da empresa Tekbonde.

Figura 27 – Bambus utilizados: (a) Bambu Gigante (*Dendrocalamus giganteus*); (b) Bambu Mossô (*Phyllostachys pubescens*).



(a)

(b)

Fonte: próprio autor.

4.2 Coleta e Processamento do bambu.

Durante a etapa de colheita dos bambus procurou-se fazer uma classificação visual como: a presença de rachaduras, tortuosidade das peças, diâmetros externos maiores.

Os bambus *Dendrocalamus giganteus* colhidos para esta pesquisa tinham diâmetros externos entre 8,2 a 10,65 cm e espessura de parede entre 0,53 a 1,47 cm. Já os bambus *Phyllostachys pubescens* tiveram, diâmetros externos variando entre 5,46 a 11,01 cm e espessura de parede entre 0,6 a 2,43 cm.

Os bambus foram cortados com aproximadamente dois metros de comprimento. Foram empilhados de forma vertical em local coberto e protegido para secagem. As vantagens de fazer a secagem antes do processamento das lâminas de bambu, ou seja, fazer a secagem do bambu roliço, são as seguintes (CARDOSO JÚNIOR, 2008):

- Evita contrações e fendas;
- Aumenta a resistência mecânica; diminui a massa do material.

4.2.1 Processamento para obtenção das lâminas de bambu

Os bambus, depois de colhidos e secos, foram cortados na serra circular destopadeira com 1,90 m de comprimento, medida necessária para que os bambus possam ser utilizados na etapa de seccionamento longitudinal (Figura 28).

Figura 28 - Bambus utilizados para produção de BLC.



Fonte: próprio autor.

O corte longitudinal foi feito na seccionadora longitudinal de bambu (Figura 29a). O funcionamento dessa máquina consiste em colocar o bambu entre a faca estrela e o bloco de condução (Figura 29b), onde este último vai empurrar o bambu longitudinalmente contra a faca estrela.

Figura 29 – Seccionadora de bambu: (a) Vista geral e componentes principais; (b) Corte longitudinal.



Fonte: próprio autor.

Assim, as taliscas utilizadas para fabricação de lâminas foram obtidas por seccionamento longitudinal, como na Figura 30.

Figura 30 - Taliscas de bambu.



Fonte: próprio autor.

A Figura 31 mostra as sobras de cada nó nas partes internas e externas nas taliscas após o corte longitudinal. Foi necessário retirar essas sobras de nós para que a velocidade de processamento fosse uniforme na fase de obtenção das lâminas.

Figura 31 - Taliscas de bambu com sobras de diafragmas.



Fonte: próprio autor.

A retirada da parte interna dos diafragmas nas taliscas de bambu foi feita por meio de uma serra fita, conforme a Figura 32.

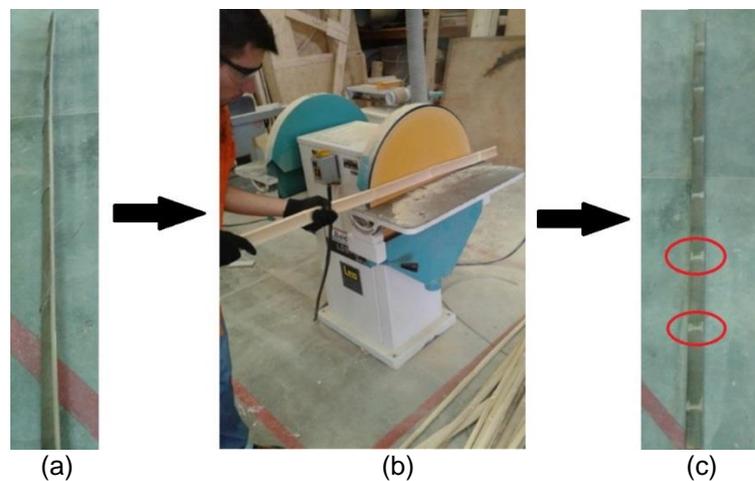
Figura 32 - Processo de retirada da parte interna de nós de bambus em taliscas de bambus.



Fonte: próprio autor.

Para a retirada dos diafragmas da parte externa nas taliscas foi utilizado o processo de lixamento com lixadeira rotativa, conforme a Figura 33.

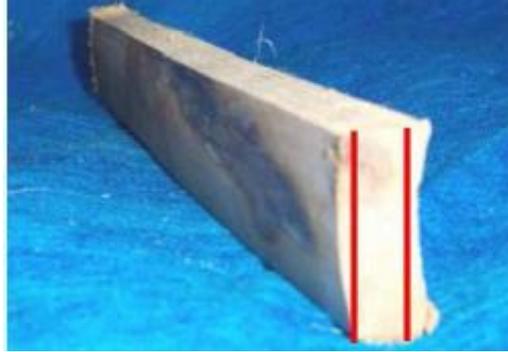
Figura 33 – Lixamento das taliscas de bambu: (a) Taliscas; (b) Lixamento na parte externa de nós; (c) Talisca com os nós lixados.



Fonte: próprio autor.

A próxima etapa consistiu em retirar as curvaturas interna e externa (casca) das taliscas de bambu, conforme a Figura 34. O aplainamento da parte interna das taliscas descarta as regiões mais ricas em parênquima, que são consideradas menos resistentes, para alcançar as regiões ricas em fibras, as quais possuem maior resistência. A região da casca no colmo é descartada. A casca possui duas camadas de cera e uma de sílica que a torna impermeável e assim inviável para a colagem das ripas (CARDOSO JÚNIOR, 2008).

Figura 34 - Detalhe das curvaturas internas e externas da talisca de bambu.



Fonte: Cardoso Júnior (2008).

A obtenção das lâminas se iniciou no aplainamento das larguras das taliscas de bambu por meio da laminadora de bambu de dois cabeçotes de fresa, conforme Figura 35.

Figura 35 - Laminadora de taliscas de bambu.



Fonte: próprio autor.

O aplainamento das espessuras nas taliscas foi por meio da plaina desengrossadeira, conforme Figura 36.

Figura 36 - Plaina desengrossadeira.



Fonte: próprio autor.

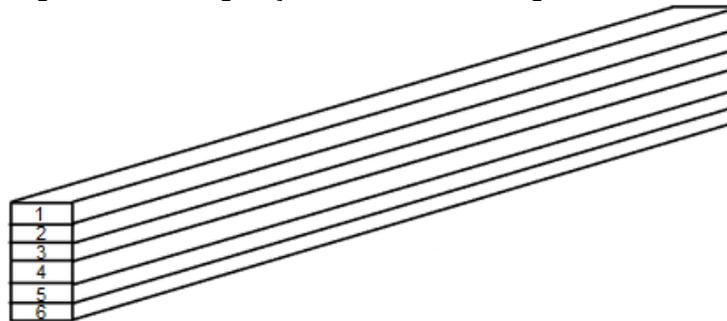
No final, uma seleção das ripas de bambu foi feita para separar as que estavam com alguma irregularidade na superfície ou dimensão. Depois as lâminas foram embaladas para melhor controle de teor de umidade nas etapas seguintes.

4.3 Produção das vigas de bambu laminado colado

A próxima etapa consistiu na transformação das lâminas de bambu em vigas de BLC. Cada viga de BLC foi constituída por seis lâminas de bambu.

Por meio da análise dos resultados dos módulos de elasticidade nas lâminas de bambu pelo ensaio de flexão, foi possível organizar as lâminas com os maiores valores de módulos de elasticidade nas extremidades das vigas de BLC. A parte central das vigas de BLC foi formado pelas lâminas de bambu com os menores valores de módulo de elasticidade, conforme as orientações da versão de revisão da norma ABNT NBR 7190:2013.

Figura 37 – Configuração das lâminas na viga de BLC.



Fonte: próprio autor.

A Figura 37 mostra como foram montadas as lâminas de bambu em cada viga de BLC. Para a montagem das vigas de BLC, as lâminas de bambu foram separadas em três classes de módulo de elasticidade: as lâminas 1 e 6 com os maiores valores, as lâminas 2 e 5 de valores intermediários e as lâminas 3 e 4 de menores valores.

Para colagem das lâminas de bambu na produção das vigas de BLC, foram utilizados dois tipos de adesivos poliuretanos:

- Poliuretano monocomponente: este tipo de adesivo tem como vantagem não necessitar de elaboração de mistura e tempo de cura

rápido, mas possuem desvantagens como o custo e o tempo para manuseio.

- Poliuretano bicomponente: esse adesivo tem a vantagem de usar fontes renováveis como o óleo de mamona e não dissipa formaldeído, além de ser resistente à umidade, boa manipulação à temperatura ambiente e grande resistência mecânica (BIANCHE et al., 2017).

A lâminas de bambu utilizadas para a montagem das Vigas de BLC ficaram com teor de umidade entre 9 a 15%.

A colagem das lâminas foi feita com linha simples de adesivo de 200 g/m², ou seja, houve aplicação de cola em uma superfície nas lâminas. O tempo de cura dos dois tipos de adesivo utilizados foi de 24 horas. O tempo de cura e a gramatura de aplicação seguiram as recomendações dos fabricantes dos adesivos.

Em seguida as lâminas foram prensadas por meio de grampos tipo C, conforme a Figura 38. Utilizando um torquímetro, a tensão de prensagem medida foi de aproximadamente 2,5 MPa. Esse valor de prensagem foi testado para assegurar que não houvesse esmagamento nas lâminas que ficam nas extremidades das vigas de BLC e seguiu as recomendações de Carrasco, Smits e Mantilla (2018).

Figura 38 - Colagem das lâminas de bambu para produção da viga de BLC.



Fonte: próprio autor.

4.4 Preparação de amostras para os ensaios físicos e mecânicos

Para a realização do estudo de caracterização física e mecânica nas espécies de bambus, foram retirados corpos de provas de cada bambu (“vara”), sendo: 8 corpos de prova para os ensaios físicos (densidade básica, teor de

umidade e estabilidade dimensional); 2 corpos de prova para realização dos ensaios de compressão; 3 corpos de prova para realização dos ensaios de tração; 3 corpos de prova para realização dos ensaios de cisalhamento paralelo às fibras. Foi retirado também o maior número possível de lâminas de cada bambu para fabricação das vigas de BLC e para o ensaio não destrutivo de módulo de elasticidade.

4.4.1 Ensaio físicos nas espécies de bambu

4.4.1.1 Densidade básica, Teor de umidade e Estabilidade dimensional

Para determinação da densidade básica e da estabilidade dimensional foram utilizados os mesmos corpos de prova para determinação do teor de umidade. As medidas das amostras foram de comprimento entre 46 e 50 mm, largura entre 25 e 30 mm e espessura entre 4 e 5 mm.

Foram ensaiados 104 corpos de prova do bambu da espécie *P. pubescens* e 96 corpos de provas da espécie *D. giganteus* para determinação das propriedades físicas.

Após a determinação da massa inicial. Os corpos de prova foram colocados na câmara de secagem por 24h para obter a massa seca, com temperatura máxima de $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ (Figura 39).

O teor de umidade foi calculado por meio da Equação 3 utilizando as massas inicial e seca de cada corpo de prova.

Figura 39 - Amostra na estufa de secagem.



Fonte: próprio autor.

Após o período de 24h de secagem, as massas das amostras que estavam na estufa foram verificadas a cada 6h até que ocorresse uma variação, entre duas medidas consecutivas, menor ou igual a 0,5% da última massa medida.

Para a determinação da densidade básica, além da massa seca foi necessário obter o volume saturado (Figura 39). Assim, as amostras foram colocadas em um recipiente com água para obter o volume saturado. O cálculo da densidade foi feito pela Equação 1. A densidade aparente que determina a densidade na amostra com 12% de teor de umidade foi calculado pela Equação 2.

Figura 40 - Amostras saturadas.



Fonte: próprio autor.

A estabilidade dimensional foi determinada por meio da variação dimensional entre as medidas com a amostra seca e as medidas com a amostra saturada. Somente foram calculados os valores da estabilidade dimensional no inchamento. As Equações 6, 7, 8 e 9 foram utilizadas para determinar os valores de estabilidade dimensional radial, tangencial, axial e anisotropia dimensional de inchamento, respectivamente.

4.4.2 Ensaios mecânicos nas espécies de bambu

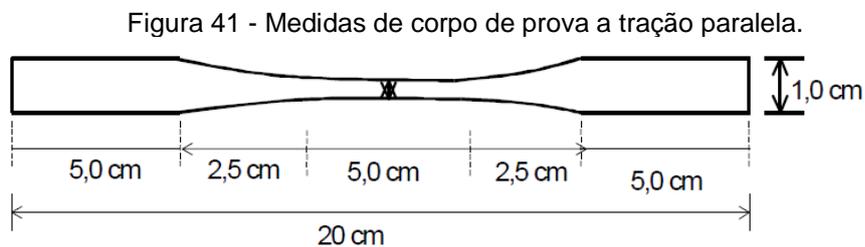
Os resultados dos ensaios de tração paralela às fibras, cisalhamento paralelo às fibras e compressão paralela às fibras das amostras que não estavam com teor de umidade a 12% foram convertidos por meio das Equações 4 e 5.

Os ensaios mecânicos foram realizados em uma máquina universal de ensaios EMIC com capacidade de 300 KN

4.4.2.1 Tração paralela às fibras nos bambus

O ensaio de tração paralela às fibras foi feito com 39 corpos de prova do bambu da espécie *P. pubescens* e 36 corpos de prova da espécie *D. giganteus*.

Os corpos de prova foram preparados de acordo com as recomendações de Ghavami e Marinho (2005): tiras de bambu com 20 cm de comprimento, 1 cm de largura e a espessura própria da parede do colmo, de onde foi retirada a amostra. A Figura 41 representa as dimensões do corpo de prova.



Fonte: Ghavami e Marinho (2005).

Os corpos de prova para tração tiveram as regiões das extremidades reforçadas com pedaços de lâmina do mesmo material. A finalidade foi aumentar a resistência superficial para evitar esmagamento e escorregamento do corpo de prova durante o ensaio, conforme a Figura 42.

Figura 42 - Corpos de prova para ensaio de tração: (a) Adaptações nas extremidades para aumentar a resistência das amostras nas garras; (b) Amostra na máquina universal de ensaio.



Fonte: próprio autor.

Os valores de resistência à tração paralela às fibras foram obtidos por meio da Equação 10.

4.4.2.2 Cisalhamento paralelo às fibras nos bambus

O ensaio de cisalhamento paralelo às fibras foi feito com 39 corpos de prova de bambu da espécie *P. pubescens* e 36 da espécie *D. giganteus*.

O ensaio de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras nos bambus seguiu as recomendações de Ghavami e Marinho (2005). Assim, utilizando corpos de prova com dois cortes.

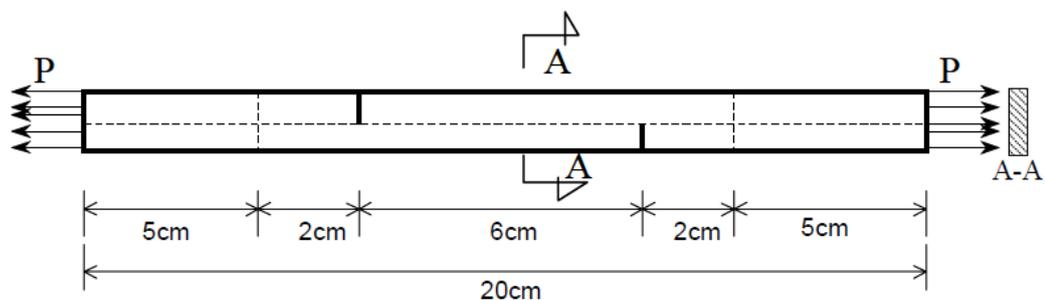
Figura 43 - Ensaio de cisalhamento interlamelar.



Fonte: próprio autor.

As medidas dos corpos de prova para esse ensaio foram conforme a Figura 44. A medida da espessura do corpo de prova foi conforme a espessura da lâmina de bambu processada, que foi entre 4 e 5mm.

Figura 44 - Medidas do corpo de prova de ensaio de cisalhamento paralelo às fibras nos bambus.



Fonte: Ghavami e Marinho (2005).

Durante a preparação dos corpos de prova, tomou-se o cuidado com os cortes transversais para não ultrapassarem o eixo de simetria. Quando essa situação ocorre, o corpo de prova pode romper por esforço de tração, tornando o resultado pouco confiável.

A mesma adaptação feita nas extremidades das amostras de tração para aumentar a resistência nas garras na máquina universal de ensaios foi feita nos corpos de provas do ensaio de cisalhamento paralelo às fibras, conforme a Figura 45.

Figura 45 - Corpos de prova para o ensaio de cisalhamento paralelo às fibras.



Fonte: próprio autor.

4.4.2.3 Ensaio de Compressão paralela às fibras nos bambus

Foram ensaiados 26 corpos de provas do bambu da espécie *P. pubescens* e 24 corpos de provas da espécie *D. giganteus* no ensaio de compressão paralela às fibras.

Os corpos de prova para o ensaio de compressão foram retirados seguindo as recomendações de Pereira e Beraldo (2007). Esses possuíam altura próxima de duas vezes o diâmetro externo (Figura 46).

Figura 46 - Corpos de prova compressão.



Fonte: próprio autor.

Como a maior parte dos corpos de prova possuía formas e espessuras irregulares. Os diâmetros externos foram medidos quatro vezes (duas vezes na base e duas vezes no topo), sendo usado o valor médio. A espessura foi medida oito vezes, nos mesmos lugares onde foram feitas as medidas de diâmetro. Sendo usado o valor médio entre elas para cálculo do diâmetro interno.

O cálculo da área de aplicação da carga de compressão no corpo de prova foi obtido por meio das Equações 13 e 14.

Na Figura 47 se observa o ensaio de compressão paralela às fibras dos corpos de prova na máquina universal de ensaios EMIC.

Figura 47 - Ensaio de compressão paralela às fibras.



Fonte: próprio autor.

Os valores de resistência à compressão paralela às fibras foram obtidos por meio da Equação 12.

4.4.2.4 Ensaio de Flexão nas lâminas nos bambus

O módulo de elasticidade de cada lâmina de bambu utilizada na produção dos BLC's foi obtido pelo ensaio não destrutivo de flexão estática em três pontos com distância de 11 cm entre os apoios, conforme a Figura 48. A altura e a largura das lâminas ficaram em torno de 5 mm e 30 mm, respectivamente.

Figura 48 - Ensaio não destrutivo de flexão em lâminas de bambu.



Fonte: próprio autor.

O valor do módulo de elasticidade nas lâminas de bambu foi calculado a partir da Equação 22:

$$(E_M) = \frac{P L^3}{48 \delta I} \quad (3)$$

Sendo:

P – Força P presente no trecho linear da curva $P \times \delta$;

δ – Flecha correspondente à força P ;

L – Distância entre apoios

I – Momento de inércia.

4.4.3 Ensaio para controle na linha de cola nas vigas de BLC

4.4.3.1 Ensaio de cisalhamento na linha

Para a realização do ensaio de cisalhamento na linha de cola, foram produzidos no total 64 corpos de prova para cada espécie de bambu utilizada (Figura 49), 40 corpos de prova produzidos com adesivo PU Bicomponente e 24 corpos de prova com adesivo PU Monocomponente. Foram ensaiadas três lâminas em cada corpo de prova.

Figura 49 - Corpos de prova utilizados no ensaio de cisalhamento na linha de cola



Fonte: próprio autor.

Esse ensaio consistiu em aplicar uma carga na lâmina a ser ensaiada por meio de um dispositivo próprio para o cisalhamento utilizado na máquina universal de ensaio, conforme a Figura 50.

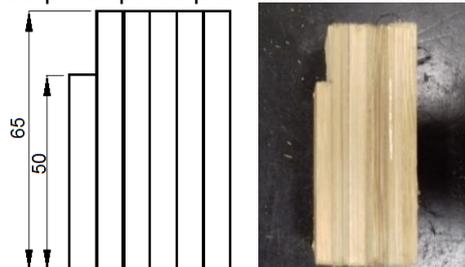
Figura 50 - Ensaio de cisalhamento em linha de cola em BLC.



Fonte: próprio autor.

Os corpos de provas foram produzidos com dimensões de 25 a 28 mm na largura por 28 a 30 mm de altura e comprimento de 65 mm. Para facilitar a execução desse ensaio, foram produzidos rebaixos nas lâminas das amostras ensaiadas para ter um melhor posicionamento no dispositivo utilizado durante o ensaio, conforme o esquema da Figura 51.

Figura 51 - Corpo de prova para cisalhamento na linha de cola.



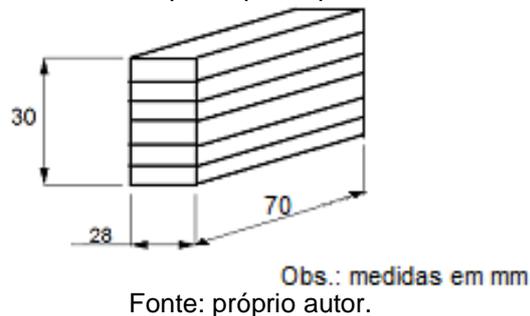
Fonte: próprio autor.

Os valores de resistência na linha de cola nas vigas de BLC foram calculados por meio da Equação 15.

4.4.3.2 Ensaio de delaminação

Para a realização do ensaio de delaminação foram retirados três corpos de provas de cada viga de BLC com dimensões de 28x30x70 mm (Figura 52).

Figura 52 - Dimensões de corpo de prova para o ensaio de delaminação.



Para a realização do ensaio de delaminação, foram produzidos 48 corpos de provas para cada espécie de bambu utilizado (Figura 53), 30 corpos de prova produzidos com adesivo PU Bicomponente e 18 corpos de provas com adesivo PU Monocomponente.

Figura 53 - Corpos de provas para o ensaio de delaminação.



Fonte: próprio autor.

O ensaio de delaminação, conforme a proposta de versão de revisão da norma ABNT NBR 7190:2013, foi executado com o seguinte procedimento:

- Pesagem da massa inicial de cada amostra;
- Medição das linhas de cola somente nas duas seções transversais de cada corpo de prova.

- Colocação dos corpos de prova na autoclave (Figura 54) e aplicação de água a uma temperatura entre 10°C e 20°C até que as amostras estivessem totalmente submersas.
- Aplicação de vácuo entre 75 KPa, por um período de 30 min;
- Aplicação de pressão entre 550 KPa, por um período de 2h;
- As amostras foram retiradas da autoclave e colocadas em uma estufa umidificadora por um período entre 10 h e 15 h, com temperatura variando entre 65 °C e 75 °C, e umidade relativa do ar entre 8 % e 10 % e uma velocidade de ar entre 2 m/s e 3 m/s.
- A secagem na estufa umidificadora continuou até que a massa da amostra atingisse um valor entre 100% e 110% da massa inicial da amostra.
- Realização das medidas nas fendas abertas nas linhas de cola das duas seções transversais de cada amostra para serem comparadas com as medidas iniciais.

Figura 54 - Autoclave para ensaios de delaminação.



Fonte: próprio autor.

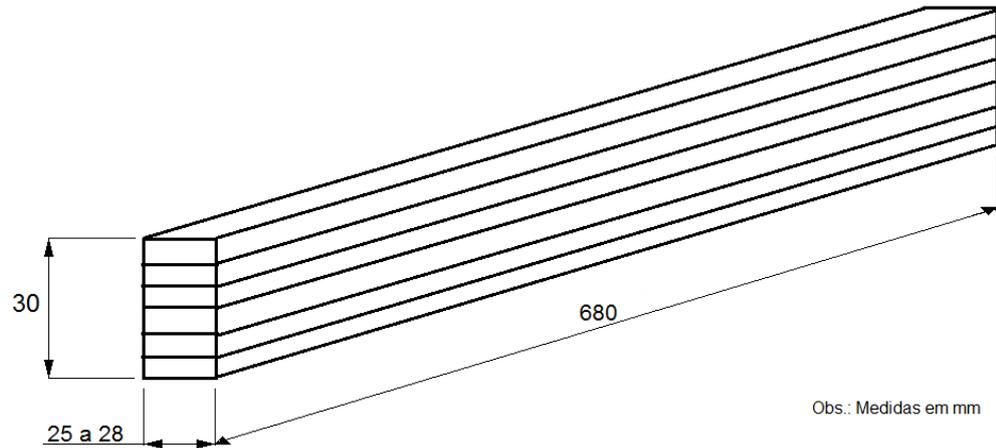
Os valores de delaminação foram calculados por intermédio da Equação 16.

4.4.4 Ensaio de flexão nas vigas de BLC e comparação de rigidezes teórica e experimental.

Para o ensaio de flexão foram produzidas um total de 16 vigas de BLC para cada espécie de bambu de *P. pubescens* e *D. giganteus*, 10 vigas produzidas com adesivo PU Bicomponente e 6 vigas com adesivo PU Monocomponente.

Os corpos de prova para este ensaio foram produzidos com dimensões conforme a Figura 55. O ensaio seguiu as recomendações da norma ABNT NBR 7190:1997 para ensaios mecânicos de flexão estática.

Figura 55 - Dimensões das vigas de BLC para o ensaio de flexão.



Fonte: próprio autor.

As vigas foram bi apoiadas conforme a relação de 21 vezes a altura das vigas. A distância entre os apoios foi de 630 mm. A força exercida foi perpendicular ao sentido das lâminas da viga de BLC ensaiada, conforme a Figura 56.

Figura 56 - Ensaio de flexão em viga de BLC.



Fonte: próprio autor.

A partir do ensaio de flexão nas vigas de BLC foram calculados os valores de módulo de elasticidade e módulo de ruptura por meio das equações 20 e 17, respectivamente.

Os valores de rigidez experimental $(EI)_{exp}$ foram comparados com os valores de rigidez teórica $(EI)_{teórica}$, conforme a revisão da norma ABNT NBR 7190:2013.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização física das espécies de bambus

5.1.1 Teor de umidade

As médias de Teor de Umidade (TU) de cada colmo dos bambus das espécies *P. pubescens* e *D. giganteus* estão representados na Tabela 5.

Tabela 5 - Teor de umidade das espécies de *P. pubescens* e *D. giganteus*.

<i>P. pubescens</i>		<i>D. giganteus</i>	
Colmo	TU (%)	Colmo	TU (%)
1	10,25	1	11,81
2	9,75	2	12,94
3	10,86	3	10,00
4	11,58	4	12,69
5	9,51	5	10,50
6	9,21	6	11,12
7	10,02	7	11,91
8	10,15	8	11,38
9	12,75	9	10,40
10	9,55	10	11,88
11	11,32	11	12,50
12	11,07	12	11,56
13	10,14	-	-
Média	10,47 ± 1,53	Média	11,56 ± 1,46

Fonte: próprio autor.

Com estas informações foi possível a realização dos ensaios mecânicos nas espécies de bambu e nas vigas de BLC. Foram utilizadas as Equações 4 e 5 para converter as propriedades mecânicas das lâminas de bambu para o Teor de Umidade de 12%.

5.1.2 Densidade

Os valores de densidade básica dos bambus *P. pubescens* e *D. giganteus* variaram, respectivamente, entre 0,514 a 0,800 g/cm³ e 0,460 a 0,779 g/cm³.

Os resultados médios de densidade básica de cada colmo dos bambus das espécies *P. pubescens* e *D. giganteus* estão nas tabelas do Apêndice A.

A Tabela 6 apresenta a comparação dos valores de densidade básica das espécies de bambu em estudo com os valores de espécies pesquisadas por outros autores.

Tabela 6 - Densidade básica das espécies em estudo e de outras espécies estudadas por outros autores.

DENSIDADE BÁSICA				
Espécie/Autor	Código	Média (g/cm ³)	Desviopadrão (g/cm ³)	C.V. (%)
<i>P. pubescens</i> em estudo	<i>Ppe</i>	0,687	0,061	8,95
<i>D. giganteus</i> em estudo	<i>Dge</i>	0,626	0,077	12,34
<i>Phyllostachy pubescens</i> (BERNSEN et al., 2010)	<i>Pp</i>	0,670	0,070	10,01
<i>Dendrocalamus giganteus</i> (BRITO et al., 2015)	<i>Dg(2)</i>	0,660	0,140	21,21
<i>Bambusa tuldoides</i> (COLLI et al., 2006)	<i>Bt(1)</i>	0,504	-----	-----
<i>Guadua spp</i> (MURAD, 2011)	<i>Gs(1)</i>	0,713	0,020	0,03
<i>Guadua weberbaueri</i> (MURAD, 2007)	<i>Gw(2)</i>	0,815	-----	-----
<i>Dendrocalamus giganteus</i> (ROSA, 2005)	<i>Dg(3)</i>	0,740	-----	-----
<i>Phyllostachy aurea</i> (ROSA, 2005)	<i>Pa(1)</i>	0,808	-----	-----
<i>Guadua angustifolia</i> (ROSA, 2005)	<i>Ga(1)</i>	0,740	-----	-----
<i>Dendrocalamus giganteus</i> (LIMA, 2013)	<i>Dg(4)</i>	0,733	0,115	15,80
<i>D. giganteus</i> (ROSA et al., 2016)	<i>Dg(5)</i>	0,600	-----	-----
<i>Bambusa vulgaris</i> (ROSA et al., 2016)	<i>Bv(1)</i>	0,500	-----	-----
<i>Eucalyptu ssp</i> (SEGUNDINHO et al., 2018)	<i>Esp(1)</i>	0,539	0,044	8,15

Fonte: próprio autor.

As densidades básicas das espécies de bambu obtidas, ficaram dentro da faixa de valores obtidos por Berndsen et al. (2010), Brito et al. (2015), Colli et al. (2006), Murad (2011), Rosa (2005), Lima (2013), Rosa et al. (2016), e superam as densidades básicas do eucalipto obtidas por Segundinho et al. (2018). Em torno de 27,46% e 16,14% para as espécies de bambu *P. pubescens* e *D. giganteus*, respectivamente.

A espécie de bambu *P. pubescens* teve a densidade básica 10% maior que a espécie *D. giganteus*. Logo, estimou-se que os melhores valores de propriedades mecânicas pertenceriam a espécie *P. pubescens*. Entretanto, a espécie *D. giganteus*, excluindo somente a propriedade de compressão paralela, teve os maiores valores nas propriedades mecânicas, tanto nas caracterizações das lâminas de bambu como nas vigas de BLC.

Como a comparação das propriedades mecânicas das lâminas de bambu é feita no teor de umidade a 12%, conforme a norma ABNT NBR 7190:1997, foi utilizado a densidade aparente nas Tabela 9 e 10.

5.1.3 Estabilidade dimensional

5.1.3.1 Inchamento radial, tangencial e axial

As faixas de valores de inchamento radial, tangencial e axial do bambu da espécie *P. pubescens* foram, respectivamente, entre 1,20 a 6,93%, 1,30 a 6,22% e 0,01 a 0,57% e para a espécie *D. giganteus* foram, respectivamente, entre 6,06 a 28,86%, 4,14 a 9,79% e 0,03 a 0,70%.

Os resultados médios de inchamento radial, tangencial e axial de cada colmo dos bambus das espécies *P. pubescens* estão representados na tabela B.1 do Apêndice B e para as espécies *D. giganteus* estão representados na tabela B.2 do Apêndice B.

Na Tabela 7 se comparam valores de inchamento radial, tangencial e axial das espécies de bambu em estudo com valores de espécies pesquisadas por outros autores.

Tabela 7 - Inchamento radial, tangencial e axial das espécies em estudo e de espécies pesquisadas por outros autores.

INCHAMENTO RADIAL, TANGENCIAL E RADIAL						
Espécie/Autor	Código	Inchamento	Média (%)	Desvio padrão (%)	C.V. (%)	
<i>Phyllostachys pubescens</i> em estudo	<i>Ppe</i>	Radial	3,75	1,124	29,99	
		Tangencial	3,188	0,780	24,48	
		Axial	0,178	0,149	83,75	
<i>Dendrocalamus giganteus</i> em estudo	<i>Dge</i>	Radial	13,26	4,208	31,73	
		Tangencial	6,325	1,429	22,60	
		Axial	0,320	0,181	56,56	
<i>D. giganteus</i> (PEREIRA, 2006)	<i>Dg(1)</i>	Radial	3,07	-----	-----	
		Tangencial	5,250	-----	-----	
		Axial	0,070	-----	-----	
<i>Guadua spp</i> (MURAD, 2011)	<i>Gs</i>	Radial	14,55	1,650	0,11	
		Tangencial	6,770	1,280	0,19	
		Axial	1,160	0,180	0,15	
<i>Guadua weberbaueri</i> (MURAD, 2007)	<i>Gw</i>	Radial	14,75	2,130	14,46	
		Tangencial	9,850	1,260	12,84	
		Axial	0,390	0,180	45,32	
<i>D. giganteus</i> (ROSA et al.,2016)	<i>Dg(2)</i>	Radial	7,64	-----	-----	
		Tangencial	7,810	-----	-----	
		Axial	0,270	-----	-----	
<i>Bambusa vulgaris</i> (ROSA et al.,2016)	<i>Bv</i>	Radial	7,92	-----	-----	
		Tangencial	8,770	-----	-----	
		Axial	0,220	-----	-----	

Fonte: próprio autor.

Para a espécie *P. pubescens* os valores de inchamento radial e tangencial ficaram abaixo dos encontrados por Murad (2007, 2011) e Rosa et al. (2016). Os valores de inchamento radial ficaram próximos dos valores encontrados por Pereira (2006) e os valores de inchamento tangencial ficaram abaixo.

Os valores de inchamento radial da espécie *D. giganteus* obtidos neste trabalho ficaram próximos dos valores encontrados por Murad (2007, 2011) e superiores aos valores encontrados por Rosa et al. (2016) e Pereira (2006). Por sua vez os valores de inchamento tangencial ficaram dentro da faixa de valores encontrados por Murad (2007, 2011), Rosa et al. (2016) e Pereira (2006). O inchamento axial nas duas espécies tiveram variação mínima inferior a 1%, próximo aos valores encontrados por Murad (2011, 2007), e Rosa et al. (2016).

A espécie *D. giganteus* teve as maiores porcentagens de inchamento do que a espécie *P. pubescens*, sendo 3,54, 1,98 e 1,80 vezes a mais nas direções radial, tangencial e axial, respectivamente.

Observou-se que a correlação entre o inchamento radial e tangencial foi maior nos valores no sentido da espessura (radial) do bambu. Esse comportamento

não ocorre com a madeira, que possui inchamento tangencial sempre maior que o radial, enquanto que o inchamento longitudinal teve o mesmo padrão encontrado para madeiras, podendo ser desconsiderada por causa do pequeno valor obtido.

5.1.3.2 Anisotropia dimensional de inchamento

Os valores gerais de anisotropia de inchamento do bambu da espécie *P. pubescens* variaram entre 0,43 a 2,55 e para a espécie *D. giganteus* variaram entre 0,27 a 1,10.

Os resultados médios de anisotropia dimensional de inchamento de cada colmo dos bambus das espécies *P. pubescens* e *D. giganteus* estão representados nas tabelas do Apêndice C.

Na Tabela 8 se comparam os valores de anisotropia das espécies de bambu estudadas neste trabalho com valores de outras espécies obtidos por outros autores.

Tabela 8 - Anisotropia dimensional das espécies deste trabalho e outras espécies de outros pesquisadores.

ANISOTROPIA				
Espécie/Autor	Código	Média	Desviopadrão	C.V. (%)
<i>Phyllostachys pubescens</i> em estudo	<i>Ppe</i>	0,991	0,768	77,45
<i>Dendrocalamus giganteus</i> em estudo	<i>Dge</i>	0,504	0,136	27,03
<i>Dendrocalamus giganteus</i> (PEREIRA, 2006)	<i>Dg(1)</i>	1,710	-----	-----
<i>Dendrocalamus giganteus</i> (BRITO et al., 2015)	<i>Dg(2)</i>	0,680	0,500	73,53
<i>Guadua spp</i> (MURAD, 2011)	<i>Gs</i>	0,465	-----	-----
<i>Guadua weberbaueri</i> (MURAD, 2007)	<i>Gw</i>	0,668	-----	-----
<i>Dendrocalamus giganteus</i> (ROSA et al.,2016)	<i>Dg(3)</i>	1,022	-----	-----
<i>Bambusa vulgaris</i> (ROSA et al.,2016)	<i>Bv</i>	1,107	-----	-----

Fonte: próprio autor.

Os valores de anisotropia encontrados ficaram dentro da faixa de valores encontrados por Murad (2007, 2011), Rosa et al. (2016), Pereira (2006) e Brito et al., (2015).

Anisotropia próxima de 1,0 significa que a espessura e a largura incham na mesma proporção revelando maior estabilidade dimensional. A espécie *P. pubescens* teve a maior estabilidade dimensional do que a espécie *D. giganteus*. Logo, a espécie *P. pubescens* apresenta menos defeitos no processo de secagem quando comparada com a espécie *D. giganteus*.

5.2 Caracterização mecânica das espécies de bambus

As Tabelas 9 e 10 apresentam os valores das características mecânicas das espécies de bambu já com a conversão de umidade de 12%, conforme a norma de madeira ABNT NBR 7190:1997.

Tabela 9 – Caracterização mecânica no bambu da espécie *Phyllostachys pubescens* umidade de 12%.

<i>Phyllostachys pubescens</i>				
Colmo	$D_{aparente}$ (g/cm ³)	f_{T0} (MPa)	f_{V0} (MPa)	f_{C0} (MPa)
1	0,730	206,67	4,07	70,31
2	0,741	211,03	3,37	69,23
3	0,781	196,36	3,12	71,02
4	0,671	196,87	4,64	73,31
5	0,641	198,84	4,35	65,09
6	0,722	219,66	4,35	81,34
7	0,763	186,56	3,48	72,88
8	0,821	197,24	3,04	60,12
9	0,744	195,69	2,93	84,06
10	0,682	270,81	4,58	62,45
11	0,733	226,40	4,79	66,32
12	0,622	234,66	4,97	57,85
13	0,666	179,70	3,46	47,91
Média	0,717	209,27	3,93	68,49
DP*	0,064	38,02	0,89	12,48

*Desvio Padrão

Fonte: próprio autor.

Tabela 10 – Caracterização mecânica no bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus* a umidade de 12%.

<i>Dendrocalamus giganteus</i>				
Colmo	$D_{aparente}$ (g/cm ³)	f_{T0} (MPa)	f_{V0} (MPa)	f_{C0} (MPa)
1	0,587	195,68	5,71	52,93
2	0,717	222,21	3,56	67,91
3	0,624	251,81	4,13	56,91
4	0,536	236,97	4,44	53,62
5	0,568	248,01	4,42	58,56
6	0,645	230,27	5,27	59,11
7	0,712	255,80	4,36	64,38
8	0,558	138,53	4,02	62,29
9	0,651	272,27	4,45	57,52
10	0,555	171,11	4,82	47,23
11	0,555	227,08	4,41	59,83
12	0,674	248,55	6,03	56,73
Média	0,716	224,86	4,64	58,09
DP*	0,077	52,57	1,05	6,13

*Desvio Padrão

Fonte: próprio autor.

Nas Tabelas do Apêndice L se comparam os valores de resistência à tração, compressão e cisalhamento paralelos às fibras com valores de espécies diferentes obtidos por outros autores. Os valores de caracterização de cada lâmina nas vigas de BLC estão representados nas tabelas do Apêndice K.

Os bambus *P. pubescens* e *D. giganteus* apresentaram resistência à tração paralela às fibras dentro da faixa de valores de espécies de bambu pesquisadas por outros autores. Quando comparados com as espécies de madeira, os bambus alcançam maiores valores de resistência à tração. Chegando a ser três vezes maior do que as madeiras em alguns casos.

No ensaio de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras, os bambus *P. pubescens* e *D. giganteus* apresentaram valores compatíveis com espécies de bambu pesquisadas por outros autores.

Quando comparados com espécies de madeira, os bambus *P. pubescens* e *D. giganteus* apresentaram valores de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras mais baixos. Como no caso dos valores do bambu *P. pubescens* que ficaram em torno de 50% daqueles da madeira *Eucalyptus aligna*.

De acordo com a norma ABNT 7190:1997, a espécie *D. giganteus* pode ser classificada na classe de resistência das folhosas como C 40, que define valores mínimos de resistência à compressão paralela às fibras de 40 MPa. Enquanto a espécie *P. pubescens* pode ser classificada na classe de resistência das folhosas como C 60, que define valores mínimos de resistência à compressão paralela às fibras de 60 MPa. Logo, as espécies *D. giganteus* e *P. pubescens*, considerando somente os valores de compressão paralela às fibras, podem ser comparadas a madeiras de médias e altas densidades.

5.3 Ensaio para controle na linha de cola nas vigas de BLC

5.3.1 Ensaio de cisalhamento na linha de cola nas vigas de BLC

As faixas de valores gerais de resistência ao cisalhamento na linha de cola nas vigas de BLC da espécie *P. pubescens* ficaram entre 0,21 a 10,43 MPa, para o PU Bicomponente, e 0,44 a 7,84 MPa, para o PU Monocomponente, e para a espécie *D. giganteus* ficaram entre 1,26 a 11,94 MPa, para o PU Bicomponente, e 2,81 a 10,84 MPa, para o PU Monocomponente.

Os resultados médios de resistência ao cisalhamento na linha de cola de cada viga de BLC dos bambus, respectivamente das espécies, *P. pubescens* e *D. giganteus* e se encontram no Apêndice I.

Na Tabela 11 se comparam valores de resistência nas linhas de cola das vigas de BLC com os valores pesquisados por outros autores.

Tabela 11 – Resistência na linha de cola de bambus das espécies e dos adesivos utilizados neste trabalho e resultados de outros autores.

RESISTÊNCIA NA LINHA DE COLA				
Espécie/Autor	Código	Média (MPa)	Desviopadrão (MPa)	C.V. (%)
<i>P. pubescens</i> (PU Bicomponente) em estudo	<i>Ppe</i> (1)	5,53	1,52	27,49
<i>P. pubescens</i> (PU Monocomponente) em estudo	<i>Ppe</i> (2)	4,66	1,79	38,40
<i>D. giganteus</i> (PU Bicomponente) em estudo	<i>Dge</i> (1)	6,55	1,56	23,81
<i>D. giganteus</i> (PU Monocomponente) em estudo	<i>Dge</i> (2)	6,69	1,69	25,31
<i>D. giganteus</i> , adesivo Cascorez (LIMA, 2013)	<i>Dg</i> (1)	5,07	0,46	9,00
<i>D. giganteus</i> , adesivo Cascophen (LIMA, 2013)	<i>Dg</i> (2)	8,05	0,92	11,40
<i>D. giganteus</i> , adesivo PVA (NOGUEIRA, 2008)	<i>Dg</i> (3)	2,35	-----	-----
<i>D. giganteus</i> , adesivo Adespec (NOGUEIRA, 2008)	<i>Dg</i> (4)	2,07	-----	-----
<i>B. vulgaris</i> , adesivo Uréia-formol e trat. químico ¹	<i>Bv</i>	4,00	-----	-----
<i>D. giganteus</i> , adesivo Uréia-formol e trat. químico ¹	<i>Dg</i> (5)	4,00	-----	-----
<i>D. giganteus</i> , adesivo PVA e trat. com CCB ²	<i>Dg</i> (6)	4,54	0,85	18,72
<i>D. giganteus</i> , adesivo PVA e trat. com água ²	<i>Dg</i> (7)	6,34	1,44	22,71
<i>D. giganteus</i> , adesivo Resorcinol e trat. com CCB ²	<i>Dg</i> (8)	4,30	1,52	35,35
<i>D. giganteus</i> , adesivo Resorcinol e trat. com água ²	<i>Dg</i> (9)	9,60	1,17	12,19
<i>D. giganteus</i> , adesivo PVA ³	<i>Dg</i> (10)	4,23	0,66	15,63
<i>D. giganteus</i> , adesivo Resorcinol ³	<i>Dg</i> (11)	5,19	0,94	18,10
<i>D. giganteus</i> , adesivo Pu bicomponente ⁴	<i>Dg</i> (12)	12,00	-----	-----

Notas: ¹ Rivero e Beraldo (2003); ²Paes et al. (2003); ³ Oliveira Júnior e Lima Júnior (2010); ⁴Lapo e Beraldo (2008).

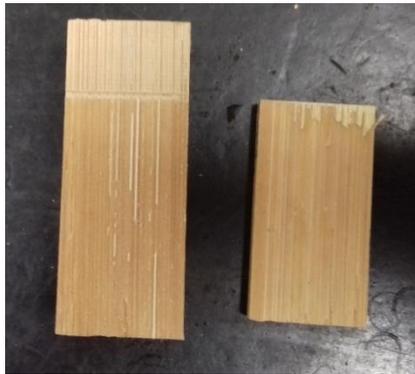
Fonte: próprio autor.

Observa-se que os bambus laminados colados produzidos com bambus *P. pubescens* e *D. giganteus* apresentaram resistência na linha de cola dentro da faixa de valores de espécies de bambu pesquisadas por outros autores. Entretanto,

quando se analisa os tipos de rupturas, 85% dos corpos de prova romperam na linha de cola.

Ao analisar a relação entre a ruptura bambu e adesivo, as amostras que tiveram ruptura na linha de cola tiveram praticamente 100% de ruptura no adesivo, conforme a Figura 57. Assim, verifica-se a ineficiência de colagem dos adesivos nas vigas de BLC. Esperava-se, no mínimo, que o adesivo tivesse maior resistência do que o bambu.

Figura 57 – Ruptura na linha de cola no ensaio de cisalhamento na linha de cola.



Fonte: próprio autor.

As lâminas de bambu por possuírem espessuras em torno de 4 a 5 mm podem ter influenciado na qualidade dos resultados obtidos durante a execução do ensaio de cisalhamento na linha de cola. O desejado é que a ruptura das lâminas se dê na direção longitudinal da própria lâmina e não pelo esmagamento das lâminas conforme a Figura 58 ilustra.

Figura 58 - Esmagamento por cisalhamento na linha de cola de uma lâmina da amostra.



Fonte: próprio autor.

5.3.2 Ensaio de delaminação nas vigas de BLC

As faixas de valores gerais de delaminação nas vigas de BLC da espécie *P. pubescens* ficaram entre 5,28 a 58,54 %, para o PU Bicomponente, e 6,63 a 53,35%, para o PU Monocomponente, e para a espécie *D. giganteus* ficaram entre 23,74 a 88,01%, para o PU Bicomponente, e 34,20 a 71,99 %, para o PU Monocomponente.

No Apêndice D se encontram resultados médios de delaminação de cada viga de BLC, respectivamente dos bambus das espécies *P. pubescens* e *D. giganteus*.

Na Tabela 12 se comparam os valores de delaminação nas vigas de BLC com os valores de delaminação pesquisadas por outros autores.

Tabela 12 - Delaminação das vigas de BLC deste trabalho e de outros autores.

DELAMINAÇÃO				
Espécie/Autor	Código	Média (%)	Desvio padrão (%)	C.V. (%)
<i>D. giganteus</i> (PU Bicomponente) em estudo	<i>Dge(1)</i>	47,71	14,97	31,38
<i>D. giganteus</i> (PU Monocomponente) em estudo	<i>Dge(2)</i>	55,31	11,80	21,34
<i>P. pubescens</i> (PU Bicomponente) em estudo	<i>Ppe(1)</i>	25,59	13,64	53,29
<i>P. pubescens</i> (PU Monocomponente) em estudo	<i>Ppe(2)</i>	30,22	13,04	43,14
<i>D. giganteus</i> , ad. Isocianato pol. (ROSA et al., 2016)	<i>Dg(1)</i>	41,35	-----	-----
<i>D. giganteus</i> , adesivo Melamina (ROSA et al., 2016)	<i>Dg(2)</i>	5,42	-----	-----
<i>D. giganteus</i> , adesivo PVA (ROSA et al., 2016)	<i>Dg(3)</i>	30,09	-----	-----
<i>D. giganteus</i> , adesivo Resorcinol (ROSA et al., 2016)	<i>Dg(4)</i>	0,00	-----	-----
<i>B. vulgaris</i> , adesivo Isocianato pol. (ROSA et al., 2016)	<i>Bv(1)</i>	20,81	-----	-----
<i>B. vulgaris</i> , adesivo Melamina (ROSA et al., 2016)	<i>Bv(2)</i>	0,00	-----	-----
<i>B. vulgaris</i> , adesivo PVA (ROSA et al., 2016)	<i>Bv(3)</i>	45,55	-----	-----
<i>B. vulgaris</i> , adesivo Resorcinol (ROSA et al., 2016)	<i>Bv(4)</i>	0,00	-----	-----
<i>Pinus sp.</i> , adesivo Purbond (CALIL NETO, 2011).	<i>Psp(1)</i>	1,50	-----	-----
<i>Pinus sp.</i> , adesivo Cascophen (CALIL NETO, 2011).	<i>Psp(2)</i>	0,60	-----	-----
<i>E. sp.</i> , adesivo Resorcinol (SEGUNDINHO et al., 2018)	<i>Esp(1)</i>	5,02	-----	-----
<i>E. sp.</i> , adesivo Poliuretano (SEGUNDINHO et al., 2018)	<i>Esp(2)</i>	34,40	-----	-----

Fonte: próprio autor.

As porcentagens médias de delaminação encontradas nas vigas de BLC produzidas com o bambu da espécie *D. giganteus* foram maiores quando comparadas com outros laminados colados de bambu e madeira citados na Tabela 8.

As médias de delaminação das vigas de BLC produzidas de bambu da espécie *P. pubescens* ficaram abaixo dos valores dos laminados colados de *D. giganteus*, de *D. giganteus* com adesivo Isocianato polimérico em Rosa et al.

(2016), de *B. vulgaris* com adesivo PVA em Rosa et al. (2016) e de *E. sp* com adesivo Poliuretano em Segundinho et al. (2018).

A delaminação do laminado colado produzido com *D. giganteus* e adesivo PVA em Rosa et al. (2016) ficou próximo dos valores da delaminação dos BLC's produzidos com *P. pubescens*.

Os valores médios de delaminação das vigas de BLC produzidas com as duas espécies de bambu foram superiores aos valores de delaminação ideais para laminados colados produzidos com madeira de coníferas e folhosas, que são de 4% e 6%, respectivamente.

Ao observar as rupturas das amostras no ensaio de cisalhamento na linha de cola e os valores de delaminação nas vigas de BLC, avalia-se a ineficiência de colagem nos laminados de bambus. Alguns fatores podem ter contribuído para essa situação, como: alta umidade de colagem, pressão de colagem (podem ocorrer esmagamento dos poros), método de emprego de adesivo, gramatura de adesivo, combinação entre espécie e adesivo e os bambus podem não possuir quantidades de poros suficientes na superfície de colagem (necessário fazer análises de microscopia).

Entretanto, os valores obtidos nos ensaios de cisalhamento na linha de cola, as vigas de BLC atingiram valores adequados quando comparados às vigas de BLC pesquisadas por outros autores.

5.4 Ensaio de flexão nas vigas de blc

5.4.1 Módulo de elasticidade e ruptura nas vigas de BLC

As faixas de valores gerais de módulo de elasticidade nas vigas de BLC da espécie *P. pubescens* ficaram entre 9222,41 a 13613,58 MPa, para o PU Bicomponente, e 7962,52 a 12616,11 MPa, para o PU Monocomponente, e para a espécie *D. giganteus* ficaram entre 13796,04 a 26301,02 MPa, para o PU Bicomponente, e 16153,66 a 18597,76 MPa, para o PU Monocomponente.

As tabelas no Apêndice J mostram resultados de módulo de elasticidade de cada viga de BLC dos bambus das espécies *P. pubescens* e *D. giganteus*.

Na Tabela 13 se comparam valores de módulo de elasticidade nas vigas de BLC com valores de BLC pesquisados por outros autores.

Tabela 13 - Módulo de elasticidade nas vigas de BLC deste trabalho e de outros autores.

MOE EM VIGAS DE BLC				
Vigas de BLC	Código	Média (MPa)	Desvio padrão (MPa)	C.V. (%)
<i>D. giganteus</i> (PU Bicomponente) em estudo	<i>Dge(1)</i>	18982,36	3184,67	16,78%
<i>D. giganteus</i> (PU Monocomponente) em estudo	<i>Dge(2)</i>	17680,17	835,00	4,72%
<i>P. pubescens</i> (PU Bicomponente) em estudo	<i>Ppe(1)</i>	11884,32	1101,10	9,27%
<i>P. pubescens</i> (PU Monocomponente) em estudo	<i>Ppe(2)</i>	10477,14	1450,01	13,84%
<i>D. giganteus</i> , adesivo PVA ¹	<i>Dg(1)</i>	11913,88	-----	-----
<i>D. giganteus</i> , adesivo Adespec ¹	<i>Dg(2)</i>	7965,22	-----	-----
<i>D. giganteus</i> , adesivo PVA e trat. com CCB ²	<i>Dg(3)</i>	4540,00	849,00	18,72
<i>D. giganteus</i> , adesivo PVA e trat. com água ²	<i>Dg(4)</i>	6340,00	1439,81	22,71
<i>D. giganteus</i> , adesivo Resorcinol e trat. c/ CCB ²	<i>Dg(5)</i>	4300,00	1520,05	35,35
<i>D. giganteus</i> , adesivo Resorcinol e trat. c/ água ²	<i>Dg(6)</i>	9600,00	1170,24	12,19
<i>D. giganteus</i> , adesivo Pu bicomponente ³	<i>Dg(7)</i>	18400,00	-----	-----
<i>D. giganteus</i> , adesivo isocianato polimérico ⁴	<i>Dg(8)</i>	14013,54	-----	-----
<i>D. giganteus</i> , adesivo melamina-ureia-formal ⁴	<i>Dg(9)</i>	14121,63	-----	-----
<i>D. giganteus</i> , adesivo acetado de polivinila ⁴	<i>Dg(10)</i>	13657,67	-----	-----
<i>D. giganteus</i> , adesivo acetado de resorcinol ⁴	<i>Dg(11)</i>	14402,31	-----	-----
<i>B. vulgaris</i> , adesivo isocianato polimérico ⁴	<i>Bv(1)</i>	12518,25	-----	-----
<i>B. vulgaris</i> , adesivo melamina-ureia-formal ⁴	<i>Bv(2)</i>	14600,38	-----	-----
<i>B. vulgaris</i> , adesivo acetado de polivinila lincado ⁴	<i>Bv(3)</i>	11782,25	-----	-----
<i>B. vulgaris</i> , adesivo acetado de resorcinol-formal ⁴	<i>Bv(4)</i>	14554,44	-----	-----

Notas: ¹Nogueira (2008); ²Paes et al. (2003); ³Lapo e Beraldo (2008); ⁴Rosa et al.(2014).

Fonte: próprio autor.

As tabelas no Apêndice J fornecem os resultados de módulo de ruptura de cada viga de BLC dos bambus das espécies *P. pubescens* e *D. giganteus*.

As faixas de valores gerais de módulo de ruptura nas vigas de BLC da espécie *P. pubescens* ficaram entre 114,31 a 163,60 MPa, para o PU Bicomponente, e 75,53 a 147,69 MPa, para o PU Monocomponente, e para a espécie *D. giganteus* ficaram entre 103,93 a 216,18 MPa, para o PU Bicomponente, e 138,94 a 202,26 MPa, para o PU Monocomponente.

Na Tabela 14 se comparam valores de módulo de ruptura nas vigas de BLC e de outros autores.

Tabela 14 - Módulos de ruptura nas vigas de BLC deste estudo e de outros autores.

MÓDULO DE RUPTURA NAS VIGAS DE BLC				
Espécie/Autor	Código	Média (MPa)	Desviopadrão (MPa)	C.V. (%)
<i>D. giganteus</i> (PU Bicomponente) em estudo	<i>Dge(1)</i>	142,44	31,96	22,44
<i>D. giganteus</i> (PU Monocomponente) em estudo	<i>Dge(2)</i>	158,29	20,54	12,97
<i>P. pubescens</i> (PU Bicomponente) em estudo	<i>Ppe(1)</i>	141,14	15,96	11,31
<i>P. pubescens</i> (PU Monocomponente) em estudo	<i>Ppe(2)</i>	120,82	23,84	19,73
<i>D. giganteus</i> , adesivo Cascorez ¹	<i>Dg(1)</i>	97,30	8,47	8,70
<i>D. giganteus</i> , adesivo Cascophen ¹	<i>Dg(2)</i>	123,50	15,44	12,50
<i>D. giganteus</i> , adesivo PVA ²	<i>Dg(3)</i>	78,95	-----	-----
<i>D. giganteus</i> , adesivo Adespec ²	<i>Dg(4)</i>	75,60	-----	-----
<i>B. vulgaris</i> , adesivo Uréia-formol e trat. químico ³	<i>Bv(1)</i>	80,00	-----	-----
<i>D. giganteus</i> , adesivo Uréia-formol e trat. químico ³	<i>Dg(5)</i>	70,00	-----	-----
<i>D. giganteus</i> , adesivo PVA e trat. com CCB ⁴	<i>Dg(6)</i>	89,67	6,51	7,26
<i>D. giganteus</i> , adesivo PVA e trat. com água ⁴	<i>Dg(7)</i>	88,12	6,55	7,44
<i>D. giganteus</i> , adesivo Resorcinol e trat. com CCB ⁴	<i>Dg(8)</i>	77,86	7,52	9,66
<i>D. giganteus</i> , adesivo Resorcinol e trat. com água ⁴	<i>Dg(9)</i>	89,30	5,07	5,68
<i>D. giganteus</i> , adesivo PU bicomponente ⁵	<i>Dg(10)</i>	121,40	-----	-----
<i>D. giganteus</i> , adesivo Resorcinol ⁶	<i>Dg(11)</i>	166,00	-----	-----

Notas: ¹Lima (2013); ²Nogueira (2008); ³Lapo e Beraldo (2003); ⁴Paes et al. (2003); Rosa et al. (2014); ⁵Lapo e Beraldo (2003); ⁶Gonçalves (2000).

Fonte: próprio autor.

As vigas de BLC produzidas com as duas espécies de bambu e os dois tipos de adesivos atingiram resultados de módulos de elasticidade e ruptura compatíveis quando comparados com outras pesquisas de BLC.

Observa-se uma grande variação entre os valores obtidos pelos diferentes autores, tanto nos valores de módulo de ruptura como nos módulos de elasticidade, podendo-se atribuir tal discrepância às imperfeições decorrentes do ensaio em si. Um desses fatores pode ser o sensor de deformação, quando não é bem instalado, pode levar à obtenção de deformações localizadas (deslizamentos) e diferentes do que seria o comportamento do material como um todo.

Além disso, outros fatores podem interferir nos módulos de ruptura e elasticidade, como: espessura das lâminas, quantidade de lâminas empregadas, seção do colmo empregada na confecção das lâminas, tipo do adesivo, método de aplicação do adesivo, gramatura do adesivo e do sistema de prensagem utilizado.

De acordo com a norma ABNT 7190:1997, as vigas de BLC produzidas com o bambu da espécie *D. giganteus*, considerando somente o MOE, podem ser classificadas na classe de resistência das folhosas como C 30, que define valores mínimos de resistência à compressão paralela às fibras de 30 MPa, módulo de elasticidade de 14,5 GPa e densidade aparente de 0,650 g/cm³, na condição padrão de referência de 12% de umidade.

Enquanto as vigas de BLC produzidas com o bambu da espécie *P. pubescens* podem ser classificadas na classe de resistência das folhosas como C 20, que define valores mínimos de resistência à compressão paralela às fibras de 20 MPa, módulo de elasticidade de 9,5 GPa e densidade aparente de 0,500 g/cm³, na condição padrão de referência de 12% de umidade.

Observa-se que as vigas de BLC produzidas com a bambu da espécie *D. giganteus* tiveram os maiores valores de módulo de ruptura e elasticidade quando comparados com as vigas de BLC produzidas com o bambu *P. pubescens*.

5.4.2 Comparação da rigidez experimental com a teórica nas vigas de BLC

Os valores de rigidez experimental e teórica obtidos através do ensaio de flexão nas vigas produzidas de bambu da espécie *P. pubescens* com os dois tipos de adesivos podem ser observados na Tabela 15.

Tabela 15 - Rigidezes experimental e teórica nas vigas de *P. pubescens*.

Vigas de BLC de bambu da espécie <i>Phyllostachys pubescens</i>							
PU Bicomponente				PU Monocomponente			
Viga	E.I _{exp.} (N.mm ²)	E.I _{teór.} (N.mm ²)	EI _{teó./} EI _{exp} (%)	Viga	E.I _{exp.} (N.mm ²)	E.I _{teór.} (N.mm ²)	EI _{teó./} EI _{exp} (%)
1	8,34x10 ⁸	6,32x10 ⁸	75,76	1	6,25x10 ⁸	7,73x10 ⁸	123,74
2	5,93x10 ⁸	4,69x10 ⁸	79,21	2	7,42x10 ⁸	5,73x10 ⁸	77,28
3	5,28x10 ⁸	4,39x10 ⁸	83,06	3	5,27x10 ⁸	5,35x10 ⁸	101,39
4	7,08x10 ⁸	5,96x10 ⁸	84,10	4	5,66x10 ⁸	5,23x10 ⁸	92,36
5	5,06x10 ⁸	4,00x10 ⁸	79,00	5	5,05x10 ⁸	4,57x10 ⁸	90,47
6	4,75x10 ⁸	3,55x10 ⁸	74,66	6	6,08x10 ⁸	5,16x10 ⁸	84,80
7	6,83x10 ⁸	6,06x10 ⁸	88,81				
8	7,46x10 ⁸	6,01x10 ⁸	80,48				
9	6,25x10 ⁸	4,82x10 ⁸	77,09				
10	7,42x10 ⁸	5,47x10 ⁸	73,73				
Média	6,44x10 ⁸	5,13x10 ⁸	79,59	Média	5,963x10 ⁸	5,63x10 ⁸	95,00
DP	1,12x10 ⁸	9,20x10 ⁸	4,45	DP	7,76x10 ⁸	1,00x10 ⁸	14,79
CV	17,40%	17,95%	5,59%	CV	13,0%	17,78%	15,57%

DP – Desvio padrão; CV – Coeficiente de variação

Fonte: próprio autor.

A média dos valores de rigidez experimental das vigas de BLC produzidas com bambu *P. pubescens* e adesivo PU Bicomponente foi maior que a média dos valores de rigidez teórica na flexão. A variação na diferença entre os valores da rigidez experimental e teórica foi de 20,41%.

A média dos valores de rigidez experimental das vigas de BLC produzidas com bambu *P. pubescens* e adesivo PU Bicomponente ficou próximo da média dos

valores de rigidez teórica na flexão. A variação na diferença entre os valores da rigidez experimental e teórica foi de 5,00%.

Os valores de rigidez experimental e teórica das vigas de BLC produzidas com *D. giganteus* e os dois tipos de adesivos podem ser observados na Tabela 16.

Tabela 16 - Rigidezes experimental e teórica nas vigas de *D. giganteus*.

Vigas de BLC da espécie <i>Dendrocalamus giganteus</i>							
PU Bicomponente			PU Monocomponente				
Viga	E.l _{exp.} (N.mm ²)	E.l _{teór.} (N.mm ²)	E _{l_{teór.}} / E _{l_{exp.}} (%)	Viga	E.l _{exp.} (N.mm ²)	E.l _{teór.} (N.mm ²)	E _{l_{teór.}} / E _{l_{exp.}} (%)
1	8,88x10 ⁸	9,92x10 ⁸	111,66	1	9,80x10 ⁸	8,28x10 ⁸	84,47
2	10,56x10 ⁸	9,645x10 ⁸	91,33	2	10,44x10 ⁸	9,22x10 ⁸	88,32
3	10,47x10 ⁸	9,45x10 ⁸	90,29	3	11,85x10 ⁸	9,48x10 ⁸	79,95
4	9,54x10 ⁸	9,28x10 ⁸	97,21	4	8,71x10 ⁸	8,14x10 ⁸	93,48
5	15,51x10 ⁸	9,86x10 ⁸	63,59	5	10,33x10 ⁸	9,00x10 ⁸	87,09
6	11,57x10 ⁸	10,20x10 ⁸	88,15	6	9,16x10 ⁸	8,05x10 ⁸	87,87
7	12,48x10 ⁸	10,13x10 ⁸	81,19				
8	10,99x10 ⁸	7,54x10 ⁸	68,68				
9	9,32x10 ⁸	7,79x10 ⁸	83,48				
10	6,08x10 ⁸	6,84x10 ⁸	112,29				
Média	10,50x10 ⁸	9,07x10 ⁸	88,79	Média	10,0 x10 ⁸	8,69x10 ⁸	88,86
DP	2,34x10 ⁸	1,15x10 ⁸	15,10	DP	1,01x10 ⁸	5,59x10 ⁸	4,09
CV	22,20%	12,70%	17,01%	CV	10,06%	6,16%	4,71%

DP – Desvio padrão; CV – Coeficiente de variação

Fonte: próprio autor.

Por meio da utilização do cálculo teórico da rigidez, proposto pela revisão da norma ABNT NBR 7190:2013, os valores experimentais obtidos pelo ensaio de flexão se mostraram razoáveis. As diferenças entre as rigidezes experimental e teórica nas vigas de BLC produzidas com bambu *P. pubescens* e adesivos PU Bicomponente e Monocomponente foram de 20,41 e 5,00%, respectivamente. Nas vigas de BLC produzidas com bambu *D. giganteus* essa diferença entre rigidezes ficou em torno de 11% para os dois tipos de adesivos.

A relação entre as rigidezes experimental e teórica poderia ser melhor se tivesse sido utilizado o transdutor de deslocamento nos ensaios de flexão, pois os resultados dos módulos de elasticidade seriam mais precisos. Entretanto, os valores médios de rigidez experimental das vigas de BLC produzidas com as duas espécies de bambus e os dois tipos de adesivo foram maiores do que os valores médios da rigidez teórica. Teoricamente, essa situação era esperada que ocorresse.

5.4.3 Rupturas nas vigas de BLC obtidas no ensaio de flexão

Nesta etapa se analisa o comportamento da ruptura nas vigas de BLC a flexão.

Nas vigas de BLC de *P. pubescens* com PU Bicomponente observou-se que 60% das vigas não rompeu na linha de cola, enquanto que 40% delas tiveram rompimento na linha de cola (vigas 2, 3, 4 e 6), conforme a Figura 59.

Figura 59 – Rupturas ocorridas nas vigas de BLC de *P. pubescens* com PUBicomponente.



Fonte: próprio autor.

A Tabela 17 mostra os principais dados das vigas de BLC de *P. pubescens* com PU Bicomponente como: cargas de ruptura, deslocamentos e forma de ruptura.

Tabela 17 – Comportamento das vigas de BLC da espécie *P. pubescens* com adesivo PU Bicomponente.

Viga	Carga Máxima (KN)	Deslocamento (mm)	Modo de ruptura
1	3,96	9,48	Compressão das fibras superiores e consequente ruptura das fibras inferiores por tração.
2	3,22	12,70	Cisalhamento no adesivo entre a 1ª e a 2ª lâminas
3	3,07	14,55	Cisalhamento no adesivo entre a 1ª e a 1ª lâminas
4	2,85	11,03	Cisalhamento no adesivo entre a 2ª e a 3ª lâminas
5	3,14	14,79	Compressão das fibras superiores e consequente ruptura das fibras inferiores por tração.
6	2,87	15,94	Cisalhamento no adesivo entre a 3ª e a 4ª lâminas
7	3,41	11,41	Compressão das fibras superiores e consequente ruptura das fibras inferiores por tração.
8	3,65	10,20	Compressão das fibras superiores e consequente ruptura das fibras inferiores por tração.
9	3,53	12,28	Compressão das fibras superiores e consequente ruptura das fibras inferiores por tração.
10	3,37	10,21	Compressão das fibras superiores e consequente ruptura das fibras inferiores por tração.
Média	3,31 ± 0,33	12,26 ± 2,09	

Fonte: próprio autor.

Nas vigas de BLC de *P. pubescens* com PU Monocomponente, observou-se que 66,67% das vigas não romperam na linha de cola, enquanto que 33,33% das vigas tiveram rompimento na linha de cola (vigas 1 e 4), conforme a Figura 60.

Figura 60 – Rupturas ocorridas nas vigas de BLC de *D. giganteus* com PU Monocomponente.



Fonte: próprio autor.

A Tabela 18 mostra os principais dados das vigas de BLC de *P. pubescens* com PU Monocomponente como: cargas de ruptura, deslocamentos e forma de ruptura.

Tabela 18 – Comportamento das vigas de BLC da espécie *P. pubescens* com adesivo PU Monocomponente.

Vigas	Carga Máxima (KN)	Deslocamento Vertical (mm)	Modo de ruptura
1	2,30	12,00	Cisalhamento no adesivo entre a 3ª e a 6ª lâminas
2	3,80	10,47	Compressão das fibras superiores e consequente ruptura das fibras inferiores por tração.
3	2,55	14,47	Compressão das fibras superiores e consequente ruptura das fibras inferiores por tração.
4	2,84	13,44	Cisalhamento no adesivo entre a 4ª e a 5ª lâminas
5	2,79	14,91	Compressão das fibras superiores e consequente ruptura das fibras inferiores por tração.
6	3,25	12,88	Compressão das fibras superiores e consequente ruptura das fibras inferiores por tração.
Média	2,92 ± 0,49	13,03 ± 1,50	

Fonte: próprio autor.

As vigas 2, 3, 4, 5, 6, 8 e 10 (Figura 61) de *D. giganteus* com adesivo PU Bicomponente tiveram rompimento na linha de cola, o que corresponde a 70% desse tipo de viga.

Figura 61 – Rupturas ocorridas nas vigas de BLC de *D. giganteus* com PU Bicomponente.



Fonte: próprio autor.

A Tabela 19 lista as cargas de ruptura, deslocamentos e forma de ruptura das vigas de BLC de *D. giganteus* com e PU Bicomponente:

Tabela 19 – Comportamento das vigas de BLC da espécie *D. giganteus* com adesivo PU Bicomponente.

Vigas	Carga Máxima (KN)	Deslocamento Vertical (mm)	Modo de ruptura
1	2,63	8,55	Compressão das fibras superiores e consequente ruptura das fibras inferiores por tração.
2	3,45	7,35	Cisalhamento no adesivo entre a 1ª e a 2ª lâminas
3	3,25	7,68	Cisalhamento no adesivo entre a 1ª e a 2ª lâminas
4	2,62	8,15	Cisalhamento no adesivo entre a 1ª e a 2ª lâminas
5	3,13	7,05	Cisalhamento no adesivo entre a 2ª e a 3ª lâminas
6	3,81	6,78	Cisalhamento no adesivo entre a 1ª e a 2ª lâminas
7	3,37	6,21	Compressão das fibras superiores e consequente ruptura das fibras inferiores por tração.
8	5,09	4,74	Cisalhamento no adesivo entre a 1ª e a 2ª lâminas
9	3,71	5,47	Compressão das fibras superiores e consequente ruptura das fibras inferiores por tração.
10	2,15	10,84	Cisalhamento no adesivo entre a 1ª e a 2ª lâminas
Média	3,32 ± 0,77	7,28 ± 1,62	

Fonte: próprio autor.

Pela Figura 62, observa-se que as vigas 1, 2, 4, e 6 de *D. giganteus* com adesivo PU Monocomponente tiveram rompimento na linha de cola, o que corresponde a 66,67% desse tipo de vigas.

Figura 62 – Rupturas ocorridas nas vigas de BLC de *D. giganteus* com PU Monocomponente.



Fonte: próprio autor.

A Tabela 20 mostra os principais dados das vigas de BLC de *D. giganteus* com PU Monocomponente como: cargas de ruptura, deslocamentos e forma de ruptura.

Tabela 20–Comportamento das vigas de BLC da espécie *D. giganteus* com adesivo PU Monocomponente.

Vigas	Carga Máxima (KN)	Deslocamento Vertical (mm)	Modo de ruptura
V1	3,21	5,22	Cisalhamento no adesivo entre a 2ª e a 3ª lâminas
V2	3,55	4,90	Cisalhamento no adesivo entre a 1ª e a 2ª lâminas
V3	4,23	4,25	Compressão das fibras superiores e consequente ruptura das fibras inferiores por tração.
V4	3,54	5,84	Cisalhamento no adesivo entre a 1ª e a 2ª lâminas
V5	3,92	5,21	Compressão das fibras superiores e consequente ruptura das fibras inferiores por tração.
V6	4,65	5,66	Cisalhamento no adesivo entre a 2ª e a 3ª lâminas
Média	3,85 ± 0,48	5,18 ± 0,52	

Fonte: próprio autor.

Nos ensaios de flexão, as vigas de BLC produzidas com o bambu da espécie *D. giganteus* apresentaram maior quantidade de rupturas na linha de cola com 68,75% das amostras, se comparadas somente as espécies. Quando se comparam somente os dois tipos de adesivo, as vigas produzidas com o adesivo PU Monocomponente tiveram 50% das suas amostras com ruptura na linha de cola. As vigas da espécie *D. giganteus* com adesivo PU Bicomponente apresentaram maior quantidade de rupturas nas linhas de cola se comparado o sistema bambu e adesivo.

A resistência ao cisalhamento na linha de cola foi a propriedade crítica e pode ter influenciado nos valores de módulo de ruptura e elasticidade no ensaio de flexão das vigas de BLC. Por meio de uma melhoria no processo de colagem entre lâminas e adesivo se poderá melhorar essas propriedades. A ruptura por cisalhamento na linha de cola no ensaio de flexão nas vigas deveria ser por cisalhamento do plano central fibroso da lâmina onde as tensões de cisalhamento são críticas.

O módulo de elasticidade das vigas de BLC poderá também ser aumentado pela melhoria da adesão, mas os valores obtidos permitiram que as vigas de BLC apresentassem boa característica elástica.

O rompimento em linha de cola em vigas de BLC nos ensaios de flexão é frequentemente encontrado em outras pesquisas, autores como: Lima (2014), Rivero e Beraldo (2003), Oliveira Júnior e Lima Júnior (2010), Lapo e Beraldo (2008), Nogueira (2008). Essa situação pode ser explicada devido à ineficiência da ancoragem entre adesivos e lâminas ocorrida pela característica anatômica dos bambus.

As madeiras de baixas densidades possuem boa ancoragem no processo de colagem. Entretanto, as madeiras de densidades mais elevadas apresentaram ancoragem prejudicada se comparado com madeiras menos densas. Isso é explicado pelo fato de que uma madeira mais densa apresenta uma menor penetração do adesivo, bem como uma maior perda de cola pelas bordas da peça a ser colada resultando uma linha de cola com pior qualidade de adesão.

Como os bambus possuem densidades baixas, a possível hipótese para a ineficiência da ancoragem entre adesivo e lâminas pode ser os altos valores de sílica e amidos nas estruturas do bambu. Esses componentes são facilmente encontrados em bambus e podem interferir no processo de colagem dos adesivos. Assim, é necessária uma análise microscópica para verificar essa possibilidade.

Entretanto, outras variáveis também podem interferir no processo de colagem como: umidade das lâminas de bambu; acúmulo de adesivo, o qual trabalha de forma diferente nas lâminas de bambu; viscosidade do adesivo; pressão de colagem; gramatura de adesivo.

6 CONCLUSÃO

Os valores de propriedades físicas e mecânicas nos colmos dos bambus *Phyllostachys pubescens* e *Dendrocalamus giganteus*, apresentaram boa correlação com àqueles obtidos para espécies de bambus estudadas por outros pesquisadores. Destacando os valores obtidos no ensaio de tração paralela às fibras que, em alguns casos, chegaram a ser três vezes maiores do que o valores de algumas espécies de madeira.

Os valores médios de delaminação obtidos ficaram acima do valor exigido pela revisão da norma de ABNT NBR 7190:2013, que é no máximo 6%. A delaminação média dos BLC's produzidos com bambu *P. pubescens* e com adesivo PU Bicomponente foi de 25,59% e com adesivo PU Monocomponente foi 31,69% e para a espécie de *D. giganteus* com adesivo PU Bicomponente foi de 47,71% e com adesivo PU Monocomponente foi 55,31%.

Das vigas de BLC que foram ensaiadas à flexão, 53% romperam na linha de cola. Entretanto, as médias gerais dos valores de módulo de ruptura e elasticidade ficaram dentro da faixa das médias de valores de outras vigas de BLC encontradas na literatura. Os resultados indicam que a resistência na linha de cola é um estado limite último a ser considerado no dimensionamento de vigas de BLC para uso estrutural.

As normas de cálculo estrutural exigem que também se considerem os estados limite de utilização, entre eles está um limite para os deslocamentos. É usual adotar para vigas de plataformas a razão vão/200, o que situa o limite de deslocamento em 3,15 mm para o vão de 630 mm utilizado neste trabalho. As tabelas 17, 18, 19 e 20 indicam que todos os deslocamentos na ruptura foram menores que esse limite.

As diferenças entre as rigidezes experimentais e teóricas, principalmente nas vigas de BLC produzidas com bambu *P. pubescens*, podem ser melhoradas empregando ajustes na produção de vigas de BLC, como: no processo; utilização de equipamentos adequados; aplicação de adesivos nas lâminas; gramatura dos adesivos; pressão de colagem; tipos de adesivos; tratamentos nas lâminas, entre outros.

Os BLC's poderiam ser enquadrados na categoria de madeira leve, porém apresentando um elevado módulo de ruptura, da ordem entre 120 a 160 MPa, similar ao de várias madeiras densas brasileiras.

Mesmo sendo ineficientes na obtenção das rupturas das amostras no ensaio de cisalhamento na linha de cola, dos valores de delaminação nas vigas de BLC e das rupturas na linha de cola em 53% das amostras no ensaio de flexão, as vigas de BLC obtiveram resultados positivos de módulo de elasticidade e ruptura no ensaio de flexão e de resistência de cisalhamento na linha de cola quando comparados com outras vigas de BLC da literatura. Destacando as vigas de BLC produzidas com o bambu da espécie *D. giganteus* que atingiram valores de módulo de elasticidade e ruptura e resistência na linha de cola superiores àqueles obtidos para as vigas de BLC feitas com os bambus *P. pubescens*.

7SUGESTÕES PARA TRABALHOS POSTERIORES

Fazer comparações de valores numéricos de rigidez obtidos por meio de simuladores com os valores de rigidez experimental e teórico.

Obter outros valores de rigidez experimental e teóricos para laminados colados utilizando outras espécies de bambus e/ou outros tipos de adesivos.

Melhorar o processo de obtenção das lâminas e experimentar outros tipos de adesivos para melhorar os valores de delaminação nos laminados colados de bambus produzidos com as espécies de *Phyllostachys pubescens* e *Dendrocalamus*.

Fazer comparações nos valores de propriedade mecânicas com diferentes normas, como específicas para bambu e até adaptações de normas voltadas para madeira.

8 REFERÊNCIAS

AHMAD, M. **Analysis of calcutta bamboo for structural composite materials**. Dissertação, Wood Sci. and Forest Products, VT. p. 210. 2000.

BERALDO, A. L.; AZZINI, A. **Bambu: características e utilizações**. Guaíba: Agropecuária, Rio Grande do Sul, 2004, 127 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT, **NBR 7190**: projeto de estruturas de madeira, Rio de Janeiro, 1997, 107 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **CB-02 2º PN revisão ABNTNBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 2013.

BERNDSSEN, Rodrigo S. **Caracterização anatômica, física e mecânica de lâminas de bambu (*Phyllostachys pubescens*)**. 2008. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba-PR, 2008. Disponível em: <<http://www.ppgem.ct.utfpr.edu.br/dissertacoes/BERNDSSEN,%20Rodrigo.pdf>>. Acesso em: 04 março 2017.

BERNDSSEN, Rodrigo Strzelecki et al. PROPRIEDADES FÍSICAS DO BAMBU-MOSSÔ (*Phyllostachys pubescens* Mazelex H. de Lehaie) EM DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES DO COLMO. **Floresta**, Curitiba, v. 40, n. 1, p.183-19, jan. 2010.

BIANCHE, Juliana Jerásio et al. Cisalhamento na Linha de Cola de *Eucalyptus sp.* Colado com Diferentes Adesivos e Diferentes Gramaturas. **Rio de Janeiro**, Lavras, v. 24, p.15-27, 3 ago. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.077114>. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2179-80872017000100169&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 23 jan. 2019.

BRITO, Flávia Maria Silva et al. Caracterização Anatômica e Física do Bambu Gigante (*Dendrocalamus giganteus* Munro). **Floresta e Ambiente**, [s.l.], v. 22, n. 4, p.559-566, 23 out. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.033913>.

CALIL NETO, Carlito. **MADEIRA LAMINADA COLADA (MLC): CONTROLE DE QUALIDADE EM COMBINAÇÕES ESPÉCIE-ADESIVO-TRATAMENTO PRESERVATIVO**. 2011. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

CARBONARI, Gilberto et al. Bambu: O aço vegetal. **Mix Sustentável**, Florianópolis, v. 3, n. 1, p.17-25, jul. 2017. Disponível em: <<http://ojs.sites.ufsc.br/index.php/mixsustentavel/article/viewFile/1876/1052>>. Acesso em: 23 jan. 2019.

CARDOSO JÚNIOR, Maurício Lima. **Recomendações para projeto de piso de bambu laminado colado - BLC**. 2008. 163 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação na área de Produção e Gestão do Ambiente Construído, Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia - Ufba, Salvador, 2008. Disponível em: < <http://www.meau.ufba.br/site/publicacoes/recomendacoes-para-projeto-de-piso-de-bambu-laminado-colado-blc-v2> >. Acesso em: 03 abril 2017.

CARRASCO, Edgar Vladimiro Mantilla; SMITS, Mônica Azevedo; MANTILLA, Judy Norka Rodo. Resistência ao cisalhamento da ligação bambu-bambu: Influência da pressão de colagem. **Matéria (rio de Janeiro)**, [s.l.], v. 22, n. 1, p.1-27, 8 jan. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620170005.0250>. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rmat/v22s1/1517-7076-rmat-22-suppl-e11914.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2018.

COLLI, Andréia et al. Propriedades físico-mecânicas e preservação, com boro e tanino, do *Bambusa tuldoides* (Munro). **Floresta e Ambiente**, [s.l.], v. 14, n. 1, p.56-64, ago. 2006.

CORREAL, Juan F. et al. Experimental evaluation of physical and mechanical properties of Glued Laminated *Guadua angustifolia* Kunth. **Elsevier**, Amsterdã, v. 73, n. 1, p.105-112, 24 set. 2014.

FERREIRA, Evandro José Linhares. O bambu é um desafio para a conservação e o manejo de florestas no sudoeste da Amazônia. **Ciência e Cultura**, [s.l.], v. 66, n. 3, p.46-51, set. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.21800/s0009-67252014000300015>. Disponível em: <http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252014000300015>. Acesso em: 10 nov. 2018.

FERREIRA, Gisleiva Cristina dos Santos. **Vigas de concreto armadas com taliscas de bambu *Dendrocalamusv giganteus***. 2007. 195 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/258714/1/Ferreira_GisleivaCristinaSantos_M.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2017.

FILGUEIRAS, Tarciso S.; GONÇALVES, Ana Paula Santos. A Checklist of the Basal Grasses and Bamboos in Brazil (POACEAE). **Bamboo Science And Culture: The Journal of the American Bamboo Society**, Califórnia, v. 18, n. 1, p.7-18, 2004. Bimestral. Disponível em: <http://bamboo.org/publications/e107_files/downloads/ABSJournal-vol18.pdf>. Acesso em: 09 mar. 2016.

FIORELLI, Juliano; DIAS, Antonio Alves. Avaliação da Delaminação em Peças de Madeira Laminada Colada Reforçadas com Fibra de Vidro. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 2, p.241-249, jun. 2005. Disponível em: <<http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo10647/>>. Acesso em: 09 dez. 2018.

GHAVAMI, Khosrow; MARINHO, AlbaniseB. Propriedades físicas e mecânicas do colmo inteiro do bambu da espécie *Guadua angustifolia*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p.107-114, 2005.

GOMES, Nádia Barros. **Análise de elementos estruturais de MLC na flexão com base na versão de revisão da norma ABNT NBR 7190:2013**. 2018. 148 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", Guaratinguetá, 2012. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/153503/gomes_nb_me_guara.pdf?sequence=3>. Acesso em: 03 fev. 2019.

GONÇALVES, M. T. T.; PEREIRA, M. A. dos R.; GONÇALVES, C. D. Ensaio de Resistência Mecânica em Peças Laminadas de Bambu. In: XXIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Fortaleza: CONBEA. 2000.

JANSSEN, J.J.A.; **Bamboo in Building Structure**. Dissertation published at the Technical University of Eindhoven, 1981.

LAPO, L. E. R.; BERARDO, A. L. Bambu Laminado Colado (BLC). **Revista em agronegócios e meio ambiente - RAMA**, Maringá -PR, v. 1, p. 165 - 177, 01 maio 2008.

LIMA, DN; AFONSO, DG; PONTES, SMA. Análise comparativa da estabilidade dimensional de 02 espécies de bambu ocorrentes na Amazônia Ocidental. In: *Anais do 4º Congresso Paranaense*; 2012 Set 10-14; Curitiba. Curitiba: Universidade Federal de Curitiba; 2012. p. 1-10.

LIMA, Douglas Mateus de et al. Avaliação do comportamento de vigas de bambu laminado colado submetidas à flexão. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p.15-27, jan./mar 2014. Disponível em: <<http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/39096>>. Acesso em: 15 março 2017.

LIMA, Douglas Mateus de. **Bambu laminado colado (*Dendrocalamus giganteus*) aplicado à treliça plana tipo Howe e à viga retangular**. 2013. 236 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Centro Acadêmico do Agreste Núcleo de Tecnologia, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2013.

LOPES, Merielen de Carvalho et al. Resistência da linha de cola de painéis de *Pinus taeda* colados lateralmente com diferentes adesivos. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 4, p.613-619, dez. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0104-77602013000400011>. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-77602013000400011&lng=en&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 23 jan. 2019.

MAGNUS, Franciele Pereira. **Análise experimental do comportamento mecânico de vigas laminadas coladas confeccionadas com taliscas de bambu**. 2015. 15 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul

Catarinense, Criciúma, 2015. Disponível em: <<http://repositorio.unesc.net/handle/1/2963>>. Acesso em: 30 nov. 2017.

MARINHO, Nelson Potenciano, **Características das fibras do bambu (*Dendrocalamus giganteus*) e potencial de aplicação em painéis de fibra de média densidade (mdf)**. 2012, Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba-PR, 141p. Disponível em: <<http://www.ppgem.ct.utfpr.edu.br/dissertacoes/MARINHO,%20Nelson%20Potenciano.pdf>>. Acesso em: 05 março 2017.

MOIZÉS, Fábio Alexandre. **Painéis de Bambu, uso e aplicações: uma experiência didática nos cursos de Design em Bauru, São Paulo**. 2007. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Desenho Industrial, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Bauru, 2007. Disponível em: <http://www.faac.unesp.br/Home/Pos-Graduacao/Design/Dissertacoes/fabio_moizes.pdf>. Acesso em: 20 fevereiro 2017.

MOTA, Izabel de Oliveira da et al. ESTUDO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DO BAMBU BRASILEIRO (*Bambusavulgarisvittata*) PARA APLICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO DE SISTEMAS HIDRÁULICOS ALTERNATIVOS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA À BAIXA PRESSÃO. **Revista de Estudos Ambientais**, Blumenau, v. 191, n. 1, p.18-26, jan./jun. 2017. Disponível em: <<http://proxy.furb.br/ojs/index.php/rea/article/view/6456>>. Acesso em: 24 jan. 2019.

MURAD, José Roberto de Lima. **ESTUDO EXPERIMENTAL DAS PROPRIEDADES FÍSICAS, MECÂNICAS E APLICAÇÕES ESTRUTURAIS DO BAMBU *GUADUA SPP* DE ASSIS BRASIL – AC**. 2011. 203 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2011.

MURAD, José Roberto de Lima; GHAVAMI, Khosrow. **As propriedades físicas, mecânicas e meso-estrutural do bambu *Guadua weberbaueri* do Acre**. Rio de Janeiro, 2007. 120p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

NI, Lin et al. Manufacture and Mechanical Properties of Glued Bamboo Laminates. **Bioresources**, v. 11, n. 2, p.4459-4471, ago. 2016.

NOGUEIRA, Claudia de Lima. **Painel de bambu laminado colado estrutural**. 2008. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Recursos Florestais, Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2008.

OLIVEIRA JÚNIOR, M. A.; LIMA JÚNIOR, H. C. Bambu laminado colado: uma alternativa para habitação popular sustentável e de alta qualidade. In: XVIII Conic, 2010, Recife. Anais do XVIII Conic, 2010. p. 1-4.

OLIVEIRA, Thaisa Francis César Sampaio de. **SUSTENTABILIDADE E ARQUITETURA: Uma reflexão sobre o uso do bambu na construção civil**. 2006. 136

f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Dinâmicas do Espaço Habitado, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2006. Disponível em: <[http://www.ctec.ufal.br/grupopesquisa/grilu/Artigos/Sustentabilidade e Arquitetura Uma Reflexão Sobre o Uso do Bambu na Construção Civil.pdf](http://www.ctec.ufal.br/grupopesquisa/grilu/Artigos/Sustentabilidade_e_Arquitetura_Uma_Reflexão_Sobre_o_Uso_do_Bambu_na_Construção_Civil.pdf)>. Acesso em: 09 mar. 2016.

ORTHEY, Andre; BARAUNA, Debora; RAZERA, Dalton Luiz; "Processos do bambu laminado colado e sua aplicação no design de móveis", p. 102-117. In: Anais do GAMPI Plural 2015 [=Blucher Design Proceedings, v.2, n.4]. São Paulo: Blucher, 2016.

OSTAPIV, Fabiano, **Análise e melhoria do processo produtivo de tábuas de bambu (*Phyllostachys pubescens*) com foco em pisos**, 2007, Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2007. Disponível em: <<http://www.ppgem.ct.utfpr.edu.br/dissertacoes/OSTAPIV,%20Fabiano.pdf> >. Acesso em: 14 março 2017.

PADOVAN, Roberval Bráz. **O bambu na arquitetura: design de conexões estruturais**. 2010. 183 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Design, Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação Programa de Pós-graduação em Design, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Bauru, 2010. Disponível em: <<https://www.faac.unesp.br/Home/Pos-Graduacao/MestradoeDoutorado/Design/Dissertacoes/roberval-braz-padovan.pdf>>. Acesso em: 08 mar. 2017.

PAES, Juarez Benigno et al. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DO LAMINADO COLADO DE BAMBU (*Dendrocalamus giganteus*). **Ciência Floresta**, Santa Maria, v. 19, n. 1, p.41-51, jan./mar. 2009.

PEIXOTO, Luciana Kaviski. **Sistema construtivo em bambu laminado colado: proposição e ensaio do desempenho estrutural de uma treliça plana do tipo Warren**. 2008. 205 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília - Df, 2008. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/9731/1/2008_LucianaKaviskiPeixoto_reduzida.pdf>. Acesso em: 08 mar. 2016.

PEREIRA NETO, Jacob S. et al. Aplicação Do bambu nas construções rurais. **Revista Educação Agrícola Superior: Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior - ABEAS**, Brasília, v. 24, n. 2, p.67-77, 2009. Disponível em: <<http://engenho.info/revista/ed01/dartigos/6-artigop81-98.pdf> >. Acesso em: 12 março 2015

PEREIRA, M. A. R.; GARBINO, L. V. Projeto bambu: desenvolvimento do bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus*) na UNESP - Bauru, com vistas à sua utilização na engenharia agrícola. In: XXXI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – Conbea: Goiânia, 2003. Disponível em: <[http://www.feb.unesp.br/pereira/Desenvolvimento do bambu gigante na Unesp-](http://www.feb.unesp.br/pereira/Desenvolvimento_do_bambu_gigante_na_Unesp-)

Bauru.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2017.

PEREIRA, Marco Antonio dos Reis. **Projeto bambu**: introdução de espécies, manejo, caracterização e aplicações. 2012. 200f. Tese (obtenção do título de Livre-Docente, na disciplina Design e Construção com Bambu) - Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” campus de Bauru/SP, 2012.

PEREIRA, Marco Antônio dos Reis; BERALDO, A. L. **Bambu de corpo e alma**. Bauru: Canal6, 2007.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. **Estruturas de Madeira**. 6. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2003. 224 p.

Ritter, M. A. **Timber Bridges**: Design, Construction, Inspection, and Maintenance. Washington (1990), DC. 944p. Disponível em: <https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/misc/em7700_8--entire-publication.pdf >. Acesso em: 02 fev. 2019.

RIVERO, Lourdes Abbade; BERALDO, Antonio Ludovico. BAMBU LAMINADO COLADO (BLC). **Revista Floram: Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 2, p.36-46, dez. 2003. Disponível em: < <http://www.floram.org/files/v10n2/v10n2a5.pdf> >. Acesso em: 12 março 2017.

RIVERO, Lourdes Abbade; MORETON, Pedro Sérgio; GOMES, Carlos Eduardo. ESTRUTURA EM BAMBU PARA ÁREA DE USO PÚBLICO. **Revista Complexus**, Centro Universitário Nossa Senhora do Patrocínio Ceunsp – Salto-SP, v.01, n. 01, p.81-98, mar. 2010.

ROSA, Caroline Coelho. **Análise experimental das propriedades dinâmicas dos bambus das espécies *Guadua, Dendrocalamus e Áurea***. 2005. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Puc-rio, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <http://www.civ.puc-rio.br/wp-content/view/down_pdf.php?pdf=../pdf/50.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2019.

ROSA, Rafael Amorim et al. Efeitos do tratamento preservativo e adesivo nas características mecânicas do laminado colado de duas espécies de bambu. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 103, p.451-462, set. 2014.

ROSA, Rafael Amorim et al. INFLUÊNCIAS DA ESPÉCIE, TRATAMENTO PRESERVATIVO E ADESIVOS NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO BAMBU LAMINADO COLADO. **Ciência Florestal**, [s.l.], v. 26, n. 3, p.913-924, 30 set. 2016. Universidade Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509824220>.

ROSA, Rafael Amorim et al. INFLUÊNCIAS DA ESPÉCIE, TRATAMENTO PRESERVATIVO E ADESIVOS NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO BAMBU LAMINADO COLADO. **Ciência Floresta**, Santa Maria, v. 26, n. 3, p.913-924, ago./set. 2016. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/24220>>. Acesso em: 10 nov. 2018.

SARTO, Camila. **Avaliação do processo Super Batch TM para produção de polpa celulósica a partir de *Bambusa vulgaris***. 2012. 667 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Ciências, Programa: Recursos Florestais. Opção Em: Tecnologia de Produtos Florestais, Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2012. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-06122012-085419/en.php>>. Acesso em: 18 março 2017.

SHARMA, Bhavna et al. Engineered bamboo for structural applications. **Elsevier**, Amsterdã, v. 81, n. 1, p.66-73, 15 abr. 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061815001117?via=ihub>>. Acesso em: 08 dez. 2017.

VILAR, W. D. **Química e Tecnologia dos Poliuretanos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Vilar Consultoria, 2004.

APÊNDICE A – Valores de Densidade básica.

Tabela A.1 - Resultados do ensaio de densidade do Bambu da espécie *Phyllostachys pubescens*.

Colmo	Média (g/cm ³)	Desvio padrão (g/cm ³)	Coef. de variação (%)
1	0,70	0,031	4,36
2	0,70	0,025	3,57
3	0,75	0,032	4,25
4	0,65	0,040	6,20
5	0,60	0,048	7,98
6	0,69	0,021	3,06
7	0,73	0,016	2,16
8	0,78	0,018	2,32
9	0,74	0,021	2,88
10	0,64	0,033	5,14
11	0,71	0,030	4,25
12	0,60	0,029	4,91
13	0,64	0,022	3,44

Fonte: próprio autor.

Tabela A.2 - Resultados do ensaio de densidade do Bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus*.

Colmo	Média (g/cm ³)	Desvio padrão (g/cm ³)	Coef. de variação (%)
1	0,59	0,031	5,27
2	0,72	0,050	7,01
3	0,62	0,032	5,16
4	0,54	0,044	8,25
5	0,57	0,033	5,85
6	0,64	0,031	4,83
7	0,71	0,023	3,23
8	0,56	0,079	14,10
9	0,65	0,069	10,55
10	0,56	0,047	8,50
11	0,68	0,058	8,41
12	0,67	0,035	5,22

Fonte: próprio autor.

**APÊNDICE B – Valores de Estabilidade dimensional de Inchamento radial,
transversal e axial**

Tabela B.1 - Valores de Inchamento radial, tangencial e axial do Bambu da espécie *Phyllostachys pubescens*.

Colmo	Inchamento	Média Inchamento (%)	Desvio padrão (%)	Coef. de variação (%)
1	Radial	3,905	1,287	32,945
	Tangencial	3,988	0,987	24,751
	Axial	0,368	0,156	42,348
2	Radial	3,251	0,592	18,219
	Tangencial	3,548	0,992	27,954
	Axial	0,205	0,179	87,508
3	Radial	3,293	0,466	14,156
	Tangencial	3,914	0,893	22,807
	Axial	0,232	0,148	63,509
4	Radial	3,848	0,403	10,482
	Tangencial	3,038	0,236	7,757
	Axial	0,141	0,117	82,867
5	Radial	4,340	0,898	20,685
	Tangencial	2,959	0,424	14,325
	Axial	0,194	0,145	74,736
6	Radial	2,957	0,881	29,793
	Tangencial	2,972	0,839	28,232
	Axial	0,168	0,127	75,572
7	Radial	3,810	0,409	10,742
	Tangencial	3,053	0,585	19,149
	Axial	0,141	0,148	104,578
8	Radial	1,886	0,495	26,260
	Tangencial	2,950	0,807	27,359
	Axial	0,062	0,046	74,357
9	Radial	3,666	0,588	16,025
	Tangencial	2,737	0,591	21,608
	Axial	0,187	0,154	82,373
10	Radial	4,023	0,736	18,292
	Tangencial	2,684	0,336	12,511
	Axial	0,149	0,107	71,744
11	Radial	4,851	0,673	13,877
	Tangencial	3,182	0,797	25,052
	Axial	0,200	0,119	59,772
12	Radial	4,392	1,320	30,054
	Tangencial	3,267	0,272	8,322
	Axial	0,158	0,093	58,583
13	Radial	4,771	0,383	8,020
	Tangencial	3,145	0,311	9,887
	Axial	0,109	0,163	148,853

Fonte: próprio autor.

Tabela B.2 - Valores de Inchamento radial, tangencial e axial do Bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus*.

Colmo	Inchamento	Média Inchamento (%)	Desvio padrão (%)	Coef. de variação (%)
1	Radial	22,881	3,393	14,827
	Tangencial	8,838	0,173	1,962
	Axial	0,273	0,173	63,401
2	Radial	8,447	1,317	15,587
	Tangencial	4,935	0,088	1,791
	Axial	0,205	0,088	43,129
3	Radial	11,761	1,426	12,122
	Tangencial	5,616	0,248	4,411
	Axial	0,405	0,248	61,162
4	Radial	14,416	1,701	11,796
	Tangencial	8,468	0,072	0,853
	Axial	0,334	0,072	21,610
5	Radial	13,558	1,210	8,922
	Tangencial	6,594	0,115	1,747
	Axial	0,302	0,115	38,092
6	Radial	11,681	2,008	17,193
	Tangencial	5,341	0,059	1,111
	Axial	0,254	0,059	23,378
7	Radial	9,972	2,064	20,695
	Tangencial	5,608	0,089	1,594
	Axial	0,178	0,089	50,239
8	Radial	12,058	2,729	22,629
	Tangencial	6,481	0,139	2,141
	Axial	0,501	0,139	27,674
9	Radial	10,769	3,503	32,524
	Tangencial	5,927	0,155	2,618
	Axial	0,272	0,155	57,012
10	Radial	15,090	2,747	18,202
	Tangencial	5,830	0,133	2,280
	Axial	0,513	0,133	25,931
11	Radial	13,846	3,164	22,851
	Tangencial	5,500	0,216	3,926
	Axial	0,256	0,216	84,500
12	Radial	14,659	1,124	7,666
	Tangencial	6,763	0,176	2,603
	Axial	0,344	0,176	51,236

Fonte: próprio autor.

APÊNDICE C – Valores de Estabilidade dimensional de Anisotropia

Tabela C.1 - Valores de Anisotropia do Bambu da espécie *Phyllostachys pubescens*.

Colmo	Média Anisotropia	Desvio padrão	Coef. de variação (%)
1	1,118	0,354	31,613
2	1,170	0,516	44,128
3	1,215	0,322	26,530
4	0,795	0,075	9,405
5	0,724	0,224	30,932
6	1,098	0,387	35,283
7	0,820	0,233	28,435
8	2,366	2,054	86,816
9	0,751	0,126	16,712
10	0,678	0,075	11,037
11	0,670	0,208	31,078
12	0,821	0,286	34,876
13	0,661	0,058	8,758

Fonte: próprio autor.

Tabela C.2 – Valores de Anisotropia do Bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus*.

Colmo	Média de Anisotropia	Desvio padrão	Coef. de variação (%)
1	0,394	0,052	13,152
2	0,592	0,065	11,029
3	0,482	0,046	9,652
4	0,590	0,066	11,217
5	0,494	0,102	20,623
6	0,469	0,071	15,176
7	0,580	0,100	17,181
8	0,577	0,211	36,467
9	0,613	0,223	36,299
10	0,396	0,084	21,119
11	0,396	0,050	12,642
12	0,464	0,054	11,752

Fonte: próprio autor.

APÊNDICE D – Valores de Ensaio de delaminação nas vigas de BLC

Tabela D.1 - Valores de delaminação nas vigas de BLC do Bambu da espécie *Phyllostachys pubescens* com o adesivo Poliuretano Bicomponente.

Colmo	Média de Delaminação (%)	Desvio padrão (%)	Coef. de variação (%)
1	14,78	4,532	30,671
2	16,13	4,314	26,740
3	19,41	2,982	15,365
4	15,31	7,099	46,360
5	31,36	14,795	47,185
6	28,82	2,154	7,475
7	30,63	20,520	66,984
8	20,46	2,249	10,992
9	32,01	6,432	20,092
10	46,99	11,191	23,816

Fonte: próprio autor.

Tabela D.2 - Valores de delaminação nas vigas de BLC do Bambu da espécie *Phyllostachys pubescens* com o adesivo Poliuretano Monocomponente.

Colmo	Média de Delaminação (%)	Desvio padrão (%)	Coef. de variação (%)
1	28,93	8,675	29,982
2	34,29	6,301	18,377
3	36,83	6,022	16,352
4	34,34	18,132	52,803
5	30,75	5,874	19,100
6	25,03	15,890	63,494

Fonte: próprio autor.

Tabela D.3 - Valores de delaminação nas vigas de BLC do Bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus* com o adesivo Poliuretano Bicomponente.

Colmo	Média de Delaminação (%)	Desvio padrão (%)	Coef. de variação (%)
1	43,97	9,798	22,282
2	44,73	15,472	34,589
3	64,40	16,960	26,334
4	45,86	14,632	31,906
5	47,04	11,347	24,123
6	60,08	7,696	12,809
7	31,92	7,502	23,505
8	53,16	6,981	13,132
9	36,84	4,026	10,928
10	49,11	15,396	31,349

Fonte: próprio autor.

Tabela D.4 - Valores de delaminação nas vigas de BLC do Bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus* com o adesivo Poliuretano Monocomponente.

Colmo	Média de Delaminação (%)	Desvio padrão (%)	Coef. de variação (%)
1	56,95	10,535	18,500
2	55,35	15,025	27,146
3	53,78	11,113	20,662
4	49,56	3,800	7,668
5	54,55	15,565	28,535
6	61,67	6,286	10,193

Fonte: próprio autor.

APÊNDICE E – Valores de Tração paralela às fibras nos bambus

Tabela E.1 - Valores de tração paralela às fibras do Bambu da espécie *Phyllostachys pubescens*.

Colmo	Média tração (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coef. de variação (%)
1	206,67	36,534	17,677
2	211,03	29,996	14,214
3	196,36	35,739	18,201
4	196,87	2,235	1,135
5	198,84	14,764	7,425
6	219,66	39,676	18,062
7	186,56	14,280	7,654
8	197,24	33,499	16,984
9	195,69	12,320	6,296
10	270,81	57,690	21,302
11	226,40	32,323	14,277
12	234,66	24,556	10,465
13	179,70	5,918	3,293

Fonte: próprio autor.

Tabela E.2- Valores de tração paralela às fibras do Bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus*.

Colmo	Média de tração (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coef. de variação (%)
1	195,68	7,365	3,764
2	222,21	23,231	10,454
3	251,81	50,704	20,136
4	236,97	37,996	16,034
5	248,01	15,625	6,300
6	230,27	50,139	21,774
7	255,80	26,227	10,253
8	138,53	33,918	24,484
9	272,27	38,291	14,063
10	171,11	49,981	29,210
11	227,08	50,204	22,109
12	248,55	32,619	13,123

Fonte: próprio autor.

APÊNDICE F – Valores de Cisalhamento paralelo às fibras nos bambus

Tabela F.1 - Valores de cisalhamento paralelo às fibras do Bambu da espécie *Phyllostachys pubescens*.

Colmo	Média de cisalhamento (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coef. de variação (%)
1	4,07	0,425	10,457
2	3,37	0,649	19,268
3	3,12	0,340	10,917
4	4,64	0,664	14,318
5	4,35	0,493	11,341
6	4,35	0,363	8,348
7	3,48	0,557	16,005
8	3,04	0,366	12,036
9	2,93	0,324	11,049
10	4,58	0,471	10,280
11	4,79	1,022	21,342
12	4,97	0,729	14,674
13	3,46	0,212	6,127

Fonte: próprio autor.

Tabela F.2 - Valores de cisalhamento paralelo às fibras do Bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus*.

Colmo	Média de cisalhamento (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coef. de variação (%)
1	5,71	1,186	20,786
2	3,56	0,536	15,065
3	4,13	0,944	22,846
4	4,44	0,498	11,226
5	4,42	0,223	5,037
6	5,27	1,899	36,054
7	4,36	0,710	16,272
8	4,02	0,187	4,642
9	4,45	0,667	14,987
10	4,82	0,449	9,304
11	4,41	0,205	4,649
12	6,03	0,250	4,146

Fonte: próprio autor.

APÊNDICE G – Valores de Ensaio de Compressão paralela às fibras nos bambus

Tabela G.1 - Valores de compressão paralela às fibras do Bambu da espécie *Phyllostachys pubescens*.

Colmo	Média Compressão (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coef. de variação (%)
1	70,31	0,678	0,964
2	69,23	0,819	1,183
3	71,02	4,585	6,455
4	73,31	5,982	8,160
5	65,09	2,431	3,735
6	81,34	4,271	5,251
7	72,88	17,322	23,767
8	60,12	4,090	6,804
9	84,06	1,952	2,323
10	62,45	9,619	15,403
11	66,32	11,356	17,123
12	57,85	5,755	9,948
13	47,91	11,199	23,374

Fonte: próprio autor.

Tabela G.2 - Valores de compressão paralela às fibras do Bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus*.

Colmo	Média de Compressão (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coef. de variação (%)
1	52,93	4,305	8,133
2	67,91	3,371	4,964
3	56,91	3,209	5,640
4	53,62	2,945	5,493
5	58,56	2,090	3,569
6	59,11	4,408	7,458
7	64,38	4,223	6,558
8	62,29	0,949	1,524
9	57,52	4,847	8,427
10	47,23	1,915	4,054
11	59,83	2,304	3,850
12	56,73	0,624	1,100

Fonte: próprio autor.

APÊNDICE H – Valores de módulo de elasticidade nas lâminas nos bambus

Tabela H.1 - Valores de módulo de elasticidade nas lâminas do Bambu da espécie *Phyllostachys pubescens*.

Colmo	Média de MOE (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coef. de variação (%)
1	9803,50	1499,007	15,291
2	9715,66	869,827	8,953
3	10570,81	1014,153	9,594
4	8680,34	1486,385	17,124
5	8195,48	610,618	7,451
6	10355,90	828,139	7,997
7	11120,57	1229,922	11,060
8	11580,23	1113,566	9,616
9	8742,48	1137,253	13,008
10	6928,77	660,204	9,528
11	6490,30	535,580	8,252
12	7366,24	973,908	13,221
13	8079,02	487,160	6,030

Fonte: próprio autor.

Tabela H.2 - Valores de módulo de elasticidade nas lâminas do Bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus*.

Colmo	Média de MOE (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coef. de variação (%)
1	14964,01	1099,760	7,349
2	16354,57	941,678	5,758
3	12085,13	1164,327	9,634
4	12114,53	1457,387	12,030
5	12938,72	1482,844	11,461
6	13061,02	914,474	7,002
7	17135,70	1764,916	10,300
8	13953,51	2284,292	16,371
9	16772,93	1652,721	9,854
10	12631,53	1128,873	8,937
11	17281,60	1123,976	6,504
12	13907,84	733,483	5,274

Fonte: próprio autor.

APÊNDICE I – Valores de Ensaio de cisalhamento na linha de cola nas vigas de BLC.

Tabela I.1 - Valores de cisalhamento na linha de cola nas vigas de BLC do Bambu da espécie *Phyllostachys pubescens* com o adesivo Poliuretano Bicomponente.

Viga	Média de Cisalhamento na linha de cola (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coef. de variação (%)
1	5,33	0,684	12,839
2	5,75	0,469	8,169
3	5,06	1,533	30,285
4	5,47	1,099	20,075
5	5,53	0,347	6,267
6	5,68	1,258	22,150
7	5,37	0,095	1,762
8	5,64	1,240	22,004
9	5,31	0,377	7,098
10	6,17	0,410	6,647

Fonte: próprio autor.

Tabela I.2 - Valores de cisalhamento na linha de cola nas vigas de BLC do Bambu da espécie *Phyllostachys pubescens* com o adesivo Poliuretano Monocomponente.

Viga	Média de Cisalhamento na linha de cola (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coef. de variação (%)
1	1,94	1,468	75,663
2	5,90	1,696	28,752
3	5,47	2,960	54,138
4	4,54	1,444	31,831
5	5,08	2,064	40,639
6	5,08	0,241	4,740

Fonte: próprio autor.

Tabela I.3 - Valores de cisalhamento na linha de cola nas vigas de BLC do Bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus* com o adesivo Poliuretano Bicomponente.

Viga	Média de Cisalhamento na linha de cola (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coef. de variação (%)
1	6,20	2,214	35,726
2	6,26	2,172	34,691
3	6,79	0,405	5,968
4	5,95	0,233	3,926
5	6,37	0,574	9,011
6	7,30	0,752	10,308
7	6,80	0,687	10,104
8	6,91	0,967	13,996
9	6,22	0,354	5,697
10	6,75	1,347	19,953

Fonte: próprio autor.

Tabela I.4 - Valores de cisalhamento na linha de cola nas vigas de BLC do Bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus* com o adesivo Poliuretano Monocomponente.

Viga	Média de Cisalhamento na linha de cola (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coef. de variação (%)
1	7,42	1,040	14,019
2	5,91	1,708	28,899
3	7,59	1,011	13,315
4	6,54	2,073	31,686
5	6,20	0,939	15,145
6	6,47	0,400	6,183

Fonte: próprio autor.

APÊNDICE J – Valores de módulo de elasticidade e ruptura nas vigas de BLC.

Tabela J.1 - Valores de módulo de elasticidade e ruptura nas vigas de BLC do Bambu da espécie *Phyllostachys pubescens* com o adesivo Poliuretano Bicomponente.

Viga	Média de MOE (MPa)	Média de MOR (MPa)
1	12302,06	139,890
2	12355,28	150,240
3	12011,80	151,500
4	12142,44	114,130
5	12241,26	159,850
6	13613,58	163,600
7	9222,41	116,400
8	12284,19	141,940
9	10752,75	144,690
10	11917,44	129,110

Fonte: próprio autor.

Tabela J.2 - Valores de módulo de elasticidade e ruptura nas vigas de BLC do Bambu da espécie *Phyllostachys pubescens* com o adesivo Poliuretano Monocomponente.

Viga	Média de MOE (MPa)	Média de MOR (MPa)
1	7962,52	75,530
2	10803,68	136,440
3	9488,86	107,860
4	10777,45	121,610
5	11214,19	135,790
6	12616,11	147,690

Fonte: próprio autor.

Tabela J.3 - Valores de módulo de elasticidade e ruptura nas vigas de BLC do Bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus* com o adesivo Poliuretano Bicomponente.

Viga	Média de MOE (MPa)	Média de MOR (MPa)
1	15152,85	106,380
2	18609,05	140,800
3	18766,11	137,040
4	18115,65	114,750
5	26301,02	150,100
6	20583,05	159,760
7	19399,06	127,980
8	20544,64	216,180
9	18556,13	167,480
10	13796,04	103,930

Fonte: próprio autor.

Tabela J.4 - Valores de módulo de elasticidade e rupturanas vigas de BLC do Bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus* com o adesivo Poliuretano Monocomponente.

Viga	Média de MOE (MPa)	Média de MOR (MPa)
1	18349,28	138,940
2	18597,76	145,840
3	18169,91	156,990
4	17111,61	154,690
5	16153,66	150,990
6	17698,77	202,260

Fonte: próprio autor.

APÊNDICE K – Resultados experimentais de caracterização das lâminas das vigas de BLC.

Tabela K.1 - Valores de caracterização das lâminas da Viga 1 da espécie *P. pubescens* com PU Bicomponente.

Lâmina	<i>E</i> (MPa)	<i>f_{ot}</i> (MPa)	<i>f_{ov}</i> (MPa)	<i>f_{oc}</i> (MPa)	<i>D_{aparente}</i> (g/cm ³)	<i>TU</i> (%)
1	8341,07	183,99	2,76	64,26	0,60	15,76
2	7862,71	167,26	3,22	44,59	0,65	10,22
3	6744,65	188,94	4,45	60,19	0,64	14,02
4	6372,27	222,92	4,72	54,17	0,54	14,05
5	8093,94	191,5	3,77	63,58	0,54	10,22
6	10885,38	191,81	3,04	57,74	0,76	11,97

Fonte: próprio autor.

Tabela K.2 - Valores de caracterização das lâminas da Viga 2 da espécie *P. pubescens* com PU Bicomponente.

Lâmina	<i>E</i> (MPa)	<i>f_{ot}</i> (MPa)	<i>f_{ov}</i> (MPa)	<i>f_{oc}</i> (MPa)	<i>D_{aparente}</i> (g/cm ³)	<i>TU</i> (%)
1	10151,32	191,5	3,77	63,58	0,527	10,22
2	6924,78	222,92	4,72	54,17	0,588	13,27
3	6786,5	188,94	4,45	60,19	0,711	16,46
4	6778,01	183,99	2,76	64,26	0,655	14,83
5	8047,38	167,26	3,22	44,59	0,652	11,04
6	10179,02	191,81	3,04	57,74	0,776	11,70

Fonte: próprio autor.

Tabela K.3 - Valores de caracterização das lâminas da Viga 3 da espécie *P. pubescens* com PU Bicomponente.

Lâmina	<i>E</i> (MPa)	<i>f_{ot}</i> (MPa)	<i>f_{ov}</i> (MPa)	<i>f_{oc}</i> (MPa)	<i>D_{aparente}</i> (g/cm ³)	<i>TU</i> (%)
1	9054,01	198,09	3,92	69,28	0,66	9,77
2	8886,09	200,62	3,2	59,44	0,70	9,94
3	8752,42	152,97	2,78	54,11	0,72	10,44
4	7309,95	196,31	4,3	58,7	0,52	9,29
5	8918,57	200,62	3,2	59,44	0,66	10,01
6	11331,85	171,39	3,2	67,42	0,74	10,44

Fonte: próprio autor.

Tabela K.4 - Valores de caracterização das lâminas da Viga 4 da espécie *P. pubescens* com PU Bicomponente.

Lâmina	E (MPa)	f_{ot} (MPa)	f_{ov} (MPa)	f_{oc} (MPa)	$D_{aparente}$ (g/cm ³)	TU (%)
1	10937,11	191,81	3,04	57,74	0,70	11,87
2	9144,73	196,31	4,3	58,7	0,52	8,75
3	6726,25	222,76	4,72	46,27	0,54	11,73
4	8085,76	167,26	3,22	44,59	0,59	10,38
5	9648,08	200,62	3,2	59,44	0,72	9,53
6	10001,94	171,39	3,2	67,42	0,71	10,63

Fonte: próprio autor.

Tabela K.5 - Valores de caracterização das lâminas da Viga 5 da espécie *P. pubescens* com PU Bicomponente.

Lâmina	E (MPa)	f_{ot} (MPa)	f_{ov} (MPa)	f_{oc} (MPa)	$D_{aparente}$ (g/cm ³)	TU (%)
1	9020,78	198,09	3,92	69,28	0,67	8,92
2	9171,68	198,09	3,92	69,28	0,66	8,69
3	7773,47	196,31	4,3	58,7	0,55	11,61
4	7759,23	183,99	2,76	64,26	0,63	15,12
5	8292,91	222,76	4,72	46,27	0,59	11,01
6	10726,64	200,62	3,2	59,44	0,71	9,98

Fonte: próprio autor.

Tabela K.6 - Valores de caracterização das lâminas da Viga 6 da espécie *P. pubescens* com PU Bicomponente.

Lâmina	E (MPa)	f_{ot} (MPa)	f_{ov} (MPa)	f_{oc} (MPa)	$D_{aparente}$ (g/cm ³)	TU (%)
1	10251,56	188,94	4,45	60,19	0,52	12,99
2	8766,24	191,81	3,04	57,74	0,74	10,80
3	8268,97	171,39	3,2	67,42	0,73	10,09
4	7962,77	191,5	3,77	63,58	0,60	10,22
5	9546,51	191,5	3,77	63,58	0,65	11,43
6	10510,39	152,97	2,78	54,11	0,75	10,99

Fonte: próprio autor.

Tabela K.7 - Valores de caracterização das lâminas da Viga 7 da espécie *P. pubescens* com PU Bicomponente.

Lâmina	E (MPa)	f_{ot} (MPa)	f_{ov} (MPa)	f_{oc} (MPa)	$D_{aparente}$ (g/cm ³)	TU (%)
1	8756,91	196,31	4,3	58,7	0,52	8,75
2	7749	167,26	3,22	44,59	0,62	10,69
3	5409,15	222,76	4,72	46,27	0,49	11,01
4	6278,25	222,92	4,72	54,17	0,58	10,86
5	7362,85	188,94	4,45	60,19	0,58	11,38
6	8049,61	183,99	2,76	64,26	0,61	11,99

Fonte: próprio autor.

Tabela K.8 - Valores de caracterização das lâminas da Viga 8 da espécie *P. pubescens* com PU Bicomponente.

Lâmina	E (MPa)	f_{ot} (MPa)	f_{ov} (MPa)	f_{oc} (MPa)	$D_{aparente}$ (g/cm ³)	TU (%)
1	8358,8	196,31	4,3	58,7	0,49	11,00
2	7773,47	196,31	4,3	58,7	0,57	8,70
3	7303,9	22,76	4,72	46,27	0,57	11,00
4	5304,31	222,92	4,72	54,17	0,56	9,60
5	7006,66	167,26	3,22	44,59	0,59	11,00
6	12280,84	191,81	3,04	57,74	0,79	9,80

Fonte: próprio autor.

Tabela K.9 - Valores de caracterização das lâminas da Viga 9 da espécie *P. pubescens* com PU Bicomponente.

Lâmina	E (MPa)	f_{ot} (MPa)	f_{ov} (MPa)	f_{oc} (MPa)	$D_{aparente}$ (g/cm ³)	TU (%)
1	8637,6	188,94	4,45	60,19	0,54	9,10
2	7503,37	191,5	3,77	63,58	0,51	10,00
3	6461,81	264,78	4,48	52,39	0,54	10,00
4	6976,24	167,26	3,22	44,59	0,62	9,20
5	7974,31	200,62	3,2	59,44	0,70	8,40
6	8244,25	196,31	4,3	58,7	0,51	9,70

Fonte: próprio autor.

Tabela K.10 - Valores de caracterização das lâminas da Viga 10 da espécie *P. pubescens* com PU Bicomponente.

Lâmina	<i>E</i> (MPa)	<i>f_{0t}</i> (MPa)	<i>f_{0v}</i> (MPa)	<i>f_{0c}</i> (MPa)	<i>D_{aparente}</i> (g/cm ³)	<i>TU</i> (%)
1	7920,03	198,09	3,92	69,28	0,67	9,70
2	7254,21	264,78	4,48	52,39	0,60	9,10
3	6028,22	222,92	4,72	54,17	0,71	10,00
4	5729,1	222,76	4,72	46,27	0,52	11,00
5	6537,39	264,78	4,48	52,39	0,60	9,20
6	10338,21	191,5	3,77	63,58	0,62	9,60

Fonte: próprio autor.

Tabela K.11 - Valores de caracterização das lâminas da Viga 1 da espécie *P. pubescens* com PU Monocomponente.

Lâmina	<i>E</i> (MPa)	<i>f_{0t}</i> (MPa)	<i>f_{0v}</i> (MPa)	<i>f_{0c}</i> (MPa)	<i>D_{aparente}</i> (g/cm ³)	<i>TU</i> (%)
1	11456,48	191,5	3,77	63,58	0,68	9,30
2	8200,77	264,78	4,48	52,39	0,63	9,60
3	6421,14	264,78	4,48	52,39	0,59	9,10
4	7333,31	188,94	4,45	60,19	0,59	9,50
5	8581,76	200,62	3,2	59,44	0,74	8,10
6	8881,34	188,94	4,45	60,19	0,57	9,20

Fonte: próprio autor.

Tabela K.12 - Valores de caracterização das lâminas da Viga 2 da espécie *P. pubescens* com PU Monocomponente.

Lâmina	<i>E</i> (MPa)	<i>f_{0t}</i> (MPa)	<i>f_{0v}</i> (MPa)	<i>f_{0c}</i> (MPa)	<i>D_{aparente}</i> (g/cm ³)	<i>TU</i> (%)
1	9467,36	198,09	3,92	69,28	0,66	10,00
2	6958,79	167,26	3,22	44,59	0,65	9,30
3	6065,93	264,78	4,48	52,39	0,57	10,00
4	7146,83	222,92	4,72	54,17	0,59	9,80
5	7756,05	222,76	4,72	46,27	0,68	10,00
6	7619,77	191,5	3,77	63,58	0,59	11,00

Fonte: próprio autor.

Tabela K.13 - Valores de caracterização das lâminas da Viga 3 da espécie *P. pubescens* com PU Monocomponente.

Lâmina	<i>E</i> (MPa)	<i>f_{0t}</i> (MPa)	<i>f_{0v}</i> (MPa)	<i>f_{0c}</i> (MPa)	<i>D_{aparente}</i> (g/cm ³)	<i>TU</i> (%)
1	10685,7	171,39	3,2	67,42	0,74	9,00
2	7470,01	167,26	3,22	44,59	0,65	9,30
3	6562,75	222,92	4,72	54,17	0,62	11,00
4	6976,08	264,78	4,48	52,39	0,65	9,40
5	7518,41	196,31	4,3	58,7	0,53	8,30
6	9265,22	171,39	3,2	67,42	0,65	9,70

Fonte: próprio autor.

Tabela K.14 - Valores de caracterização das lâminas da Viga 4 da espécie *P. pubescens* com PU Monocomponente.

Lâmina	<i>E</i> (MPa)	<i>f_{0t}</i> (MPa)	<i>f_{0v}</i> (MPa)	<i>f_{0c}</i> (MPa)	<i>D_{aparente}</i> (g/cm ³)	<i>TU</i> (%)
1	9675,61	191,81	3,04	57,74	0,71	10,00
2	9590,18	198,09	3,92	69,28	0,70	8,40
3	7920,03	198,09	3,92	69,28	0,67	8,70
4	7460,23	222,76	4,72	46,27	0,56	11,00
5	9028,74	200,62	3,2	59,44	0,71	11,00
6	10645,84	188,94	4,45	60,19	0,53	10,00

Fonte: próprio autor.

Tabela K.15 - Valores de caracterização das lâminas da Viga 5 da espécie *P. pubescens* com PU Monocomponente.

Lâmina	<i>E</i> (MPa)	<i>f_{0t}</i> (MPa)	<i>f_{0v}</i> (MPa)	<i>f_{0c}</i> (MPa)	<i>D_{aparente}</i> (g/cm ³)	<i>TU</i> (%)
1	10868,5	152,97	2,78	54,11	0,78	9,20
2	7756,05	222,76	4,72	46,27	0,58	9,80
3	7265,03	222,76	4,72	46,27	0,52	12,00
4	6507,41	222,92	4,72	54,17	0,58	12,00
5	9732,77	198,09	3,92	69,28	0,65	9,20
6	10086	152,97	2,78	54,11	0,79	11,00

Fonte: próprio autor.

Tabela K.16 - Valores de caracterização das lâminas da Viga 6 da espécie *P. pubescens* com PU Monocomponente.

Lâmina	E (MPa)	f_{ot} (MPa)	f_{ov} (MPa)	f_{oc} (MPa)	$D_{aparente}$ (g/cm ³)	TU (%)
1	11193,7	152,97	2,78	54,11	0,76	9,20
2	10126,16	200,62	3,2	59,44	0,69	11,00
3	6277,21	264,78	4,48	52,39	0,59	10,00
4	8881,34	188,94	4,45	60,19	0,57	11,00
5	9784,68	183,99	2,76	65,26	0,68	10,00
6	10754,36	198,09	3,92	69,28	0,63	10,00

Fonte: próprio autor.

Tabela K.17 - Valores de caracterização das lâminas da Viga 1 da espécie *D. giganteus* com PU Bicomponente.

Lâmina	E (MPa)	f_{ot} (MPa)	f_{ov} (MPa)	f_{oc} (MPa)	$D_{aparente}$ (g/cm ³)	TU (%)
1	16007,66	223,72	5,86	58,95	0,79	12,50
2	14834,38	189,21	5,52	51,18	0,69	13,14
3	10835,5	232,17	4,35	52,53	0,66	12,69
4	10633,73	232,17	4,35	52,53	0,59	12,69
5	13341,89	227,33	5,2	58,35	0,72	12,43
6	19117,38	223,72	5,86	58,95	0,82	12,50

Fonte: próprio autor.

Tabela K.18 - Valores de caracterização das lâminas da Viga 2 da espécie *D. giganteus* com PU Bicomponente.

Lâmina	E (MPa)	f_{ot} (MPa)	f_{ov} (MPa)	f_{oc} (MPa)	$D_{aparente}$ (g/cm ³)	TU (%)
1	17419,36	216,12	3,46	66,05	0,69	12,94
2	16724,89	216,12	3,46	66,05	0,78	12,94
3	12767,8	232,17	4,35	52,53	0,79	12,69
4	15082,75	253	4,32	63,68	0,80	12,37
5	15542,03	223,72	5,86	58,95	0,68	12,50
6	17130,64	223,72	5,86	58,95	0,74	12,50

Fonte: próprio autor.

Tabela K.19 - Valores de caracterização das lâminas da Viga 3 da espécie *D. giganteus* com PU Bicomponente.

Lâmina	E (MPa)	f_{ot} (MPa)	f_{ov} (MPa)	f_{oc} (MPa)	$D_{aparente}$ (g/cm ³)	TU (%)
1	16885,59	223,72	4,35	58,95	0,77	12,50
2	16133,31	216,12	3,46	66,05	0,81	12,94
3	12267,12	232,17	4,35	52,53	0,62	12,69
4	13548,33	227,33	5,2	58,35	0,75	12,43
5	16078,72	216,12	3,46	66,05	0,79	12,94
6	17697	223,72	4,35	58,95	0,72	12,50

Fonte: próprio autor.

Tabela K.20 - Valores de caracterização das lâminas da Viga 4 da espécie *D. giganteus* com PU Bicomponente.

Lâmina	E (MPa)	f_{ot} (MPa)	f_{ov} (MPa)	f_{oc} (MPa)	$D_{aparente}$ (g/cm ³)	TU (%)
1	17834,26	223,72	4,35	58,95	0,84	12,50
2	13871,06	189,21	5,52	51,18	0,70	13,14
3	13020,47	232,17	4,35	52,53	0,64	12,69
4	12630,13	232,17	4,35	52,53	0,63	12,69
5	15995,07	223,72	4,35	58,95	0,80	12,50
6	18451,93	253	4,32	63,68	0,79	12,37

Fonte: próprio autor.

Tabela K.21 - Valores de caracterização das lâminas da Viga 5 da espécie *D. giganteus* com PU Bicomponente.

Lâmina	E (MPa)	f_{ot} (MPa)	f_{ov} (MPa)	f_{oc} (MPa)	$D_{aparente}$ (g/cm ³)	TU (%)
1	16313,17	253	4,32	63,68	0,75	12,37
2	14101,11	216,12	3,46	66,05	0,70	12,94
3	11781,01	227,33	5,2	58,35	0,71	12,43
4	9117,6	232,17	4,35	52,53	0,55	12,69
5	15707,66	216,12	3,46	66,05	0,75	12,94
6	18292,64	253	4,32	63,68	0,81	12,37

Fonte: próprio autor.

Tabela K.22 - Valores de caracterização das lâminas da Viga 6 da espécie *D. giganteus* com PU Bicomponente.

Lâmina	E (MPa)	f_{ot} (MPa)	f_{ov} (MPa)	f_{oc} (MPa)	$D_{aparente}$ (g/cm ³)	TU (%)
1	19773,45	253	4,32	63,68	0,76	12,37
2	13819,13	241,74	5,86	55,17	0,70	12,94
3	13433,25	241,74	5,86	55,17	0,80	12,94
4	13559,98	189,21	5,52	51,18	0,74	13,14
5	15312,08	216,12	3,46	66,05	0,82	12,94
6	17688,83	253	4,32	63,68	0,79	12,37

Fonte: próprio autor.

Tabela K.23 - Valores de caracterização das lâminas da Viga 7 da espécie *D. giganteus* com PU Bicomponente.

Lâmina	E (MPa)	f_{ot} (MPa)	f_{ov} (MPa)	f_{oc} (MPa)	$D_{aparente}$ (g/cm ³)	TU (%)
1	16188,36	189,21	5,52	51,18	0,66	13,14
2	15317,08	253	4,32	63,68	0,79	12,37
3	13323,09	241,74	5,86	55,17	0,79	12,94
4	13678,38	232,17	4,35	52,53	0,56	12,69
5	14215,54	241,74	5,86	55,17	0,72	12,94
6	15771,04	216,12	3,46	66,05	0,73	12,94

Fonte: próprio autor.

Tabela K.24 - Valores de caracterização das lâminas da Viga 8 da espécie *D. giganteus* com PU Bicomponente.

Lâmina	E (MPa)	f_{ot} (MPa)	f_{ov} (MPa)	f_{oc} (MPa)	$D_{aparente}$ (g/cm ³)	TU (%)
1	16119,62	267,69	4,38	56,56	0,62	12,00
2	12403,26	136,32	3,96	61,3	0,51	12,00
3	10548,54	250,38	4,11	56,59	0,72	12,00
4	10856,14	169,38	4,77	46,75	0,65	13,00
5	12526,4	241,74	5,86	55,17	0,71	12,00
6	12819,01	227,33	5,2	58,35	0,76	12,00

Fonte: próprio autor.

Tabela K.25 - Valores de caracterização das lâminas da Viga 9 da espécie *D. giganteus* com PU Bicomponente.

Lâmina	E (MPa)	f_{ot} (MPa)	f_{ov} (MPa)	f_{oc} (MPa)	$D_{aparente}$ (g/cm ³)	TU (%)
1	15114,86	267,69	4,38	56,56	0,79	8,00
2	12148,7	227,33	5,2	58,35	0,79	9,00
3	12076,27	250,38	4,11	56,59	0,69	10,00
4	11677,12	246,24	4,39	58,14	0,67	11,00
5	12008,09	246,24	4,39	58,14	0,69	9,00
6	16866,98	136,32	3,96	61,3	0,72	10,00

Fonte: próprio autor.

Tabela K.26 - Valores de caracterização das lâminas da Viga 10 da espécie *D. giganteus* com PU Bicomponente.

Lâmina	E (MPa)	f_{ot} (MPa)	f_{ov} (MPa)	f_{oc} (MPa)	$D_{aparente}$ (g/cm ³)	TU (%)
1	18297,7	267,69	4,38	56,56	0,74	12,00
2	11011,28	136,32	3,96	61,3	0,59	12,00
3	10236,37	250,38	4,11	56,59	0,69	12,00
4	11111,99	169,38	4,77	46,75	0,59	15,00
5	13464,91	250,38	4,11	56,59	0,64	10,00
6	13838,45	267,69	4,38	56,56	0,68	14,00

Fonte: próprio autor.

Tabela K.27 - Valores de caracterização das lâminas da Viga 1 da espécie *D. giganteus* com PU Monoicomponente.

Lâmina	E (MPa)	f_{ot} (MPa)	f_{ov} (MPa)	f_{oc} (MPa)	$D_{aparente}$ (g/cm ³)	TU (%)
1	14868,68	241,74	5,86	55,17	0,67	9,50
2	11630,56	169,38	4,77	46,75	0,56	11,00
3	11390,04	136,32	3,96	61,3	0,56	11,00
4	11767,28	246,24	4,39	58,14	0,57	10,00
5	12650,91	250,38	4,11	56,59	0,62	8,20
6	17167,57	267,69	4,38	56,56	0,65	8,70

Fonte: próprio autor.

Tabela K.28 - Valores de caracterização das lâminas da Viga 2 da espécie *D. giganteus* com PU Monocomponente.

Lâmina	E (MPa)	f_{ot} (MPa)	f_{ov} (MPa)	f_{oc} (MPa)	$D_{aparente}$ (g/cm ³)	TU (%)
1	19210,12	267,69	4,38	56,56	0,65	8,60
2	12821,09	250,38	4,11	56,59	0,62	9,50
3	12512,69	189,21	5,52	51,18	0,59	10,00
4	12841,64	246,24	4,39	58,14	0,57	11,00
5	13230,41	169,38	4,77	46,75	0,56	11,00
6	14660,78	253	4,32	63,38	0,71	8,70

Fonte: próprio autor.

Tabela K.29 - Valores de caracterização das lâminas da Viga 3 da espécie *D. giganteus* com PU Monocomponente.

Lâmina	E (MPa)	f_{ot} (MPa)	f_{ov} (MPa)	f_{oc} (MPa)	$D_{aparente}$ (g/cm ³)	TU (%)
1	15932,69	136,32	3,96	61,3	0,56	11,00
2	12819,01	189,21	5,52	51,18	0,59	9,90
3	11776,34	227,33	5,2	58,35	0,64	9,70
4	12873,98	246,24	4,39	58,14	0,57	10,00
5	13268,12	241,74	5,86	55,17	0,67	9,20
6	13647,56	169,38	4,77	46,75	0,56	11,00

Fonte: próprio autor.

Tabela K.30 - Valores de caracterização das lâminas da Viga 4 da espécie *D. giganteus* com PU Monocomponente.

Lâmina	E (MPa)	f_{ot} (MPa)	f_{ov} (MPa)	f_{oc} (MPa)	$D_{aparente}$ (g/cm ³)	TU (%)
1	16645,36	267,69	4,38	56,56	0,65	10,00
2	13216,77	250,38	4,11	56,59	0,62	8,70
3	11532,49	136,32	3,96	61,3	0,56	12,00
4	13149,42	169,38	4,77	46,75	0,56	12,00
5	14653,14	136,32	3,96	61,3	0,56	11,00
6	16161,72	232,17	4,39	58,14	0,57	11,00

Fonte: próprio autor.

Tabela K.31 - Valores de caracterização das lâminas da Viga 5 da espécie *D. giganteus* com PU Monocomponente.

Lâmina	E (MPa)	f_{ot} (MPa)	f_{ov} (MPa)	f_{oc} (MPa)	$D_{aparente}$ (g/cm ³)	TU (%)
1	13961,25	246,24	4,39	58,14	0,57	11,00
2	13187,82	227,33	5,2	58,35	0,64	10,00
3	12756,93	241,74	5,86	55,17	0,67	10,00
4	11118,2	250,38	4,11	56,59	0,62	9,60
5	12382,86	169,38	4,77	46,75	0,56	11,00
6	14660,78	189,21	5,52	51,18	0,59	10,00

Fonte: próprio autor.

Tabela K.32 - Valores de caracterização das lâminas da Viga 6 da espécie *D. giganteus* com PU Monocomponente.

Lâmina	E (MPa)	f_{ot} (MPa)	f_{ov} (MPa)	f_{oc} (MPa)	$D_{aparente}$ (g/cm ³)	TU (%)
1	15533,79	267,69	4,38	56,56	0,65	9,90
2	15269,82	189,21	5,52	51,18	0,59	12,00
3	14554,33	227,33	5,2	58,35	0,64	11,00
4	11478,73	246,24	4,39	58,14	0,57	11,00
5	14022,99	169,38	4,77	46,75	0,56	11,00
6	16058,69	136,32	3,96	61,3	0,56	12,00

Fonte: próprio autor.

APÊNDICE L – Valores médios e desvio padrão de caracterização mecânica das espécies de bambu e espécies pesquisadas por outros autores.

Tabela L.1 - Valores médios e desvio padrão de resistência à tração paralela às fibras das espécies de bambu deste trabalho e espécies pesquisadas por outros autores.

RESISTÊNCIA À TRAÇÃO PARALELA ÀS FIBRAS				
Espécie/Autor	Código	Média (MPa)	Desviopadrão (MPa)	C.V. (%)
<i>Phyllostachys pubescens</i> em estudo	<i>Ppe</i>	209,27	38,018	18,17
<i>Dendrocalamus giganteus</i> em estudo	<i>Dge</i>	224,86	52,570	23,38
<i>Dendrocalamus giganteus</i> (PEREIRA, 2006)	<i>Dg(1)</i>	245,40	22,500	9,20
<i>Guadua spp</i> (MURAD, 2011)	<i>Gs</i>	178,00	87,100	0,49
<i>Guadua weberbaueri</i> (MURAD, 2007)	<i>Gw</i>	255,84	-----	-----
<i>Dendrocalamus giganteus</i> (LIMA, 2013)	<i>Dg(2)</i>	261,80	32,725	12,50
<i>Guadua angustifolia</i> (GHAVAMI; MARINHO, 2005)	<i>Ga</i>	101,67	10,060	9,90
<i>D. giganteus</i> (GONÇALVES, 200)	<i>Dg(3)</i>	161,00	-----	-----
<i>Eucalyptus grandis</i> (NBR 7190:1997)	<i>Eg</i>	70,20	-----	-----
<i>Eucalyptus saligna</i> (NBR 7190:1997)	<i>Es</i>	95,50	-----	-----
<i>Pinus elliotii var. elliotii</i> (NBR 7190:1997)	<i>Pe</i>	66,00	-----	-----
<i>Pinus taeda</i> (NBR 7190:1997)	<i>Pt</i>	82,80	-----	-----

Fonte: próprio autor.

Tabela L.2 - Valores médios e desvio padrão de resistência à compressão paralela às fibras das espécies neste estudo e espécies pesquisadas por outros autores.

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS				
Espécie/Autor	Código	Média (MPa)	Desvio padrão (MPa)	C.V. (%)
<i>Phyllostachys pubescens</i> em estudo	<i>Ppe</i>	68,492	12,475	18,21
<i>Dendrocalamus giganteas</i> em estudo	<i>Dge</i>	58,085	6,126	10,55
<i>Dendrocalamus giganteus</i> (PEREIRA, 2006)	<i>Dg(1)</i>	63,400	5,970	9,40
<i>Guadua spp</i> (MURAD, 2011)	<i>Gs</i>	45,700	4,740	10,00
<i>Guadua weberbaueri</i> (MURAD, 2007)	<i>Gw</i>	45,900	12,140	26,00
<i>Dendrocalamus giganteus</i> (LIMA, 2013)	<i>Dg(2)</i>	100,100	13,100	13,10
<i>Guadua angustifolia</i> (GHAVAMI; MARINHO, 2005)	<i>Ga</i>	29,480	2,630	9,25
<i>Eucalyptus grandis</i> (NBR 7190:1997)	<i>Eg</i>	40,300	-----	-----
<i>Eucalyptus saligna</i> (NBR 7190:1997)	<i>Es</i>	46,800	-----	-----
<i>Pinus elliotii var. elliotii</i> (NBR 7190:1997)	<i>Pe</i>	40,400	-----	-----
<i>Pinus taeda</i> (NBR 7190:1997)	<i>Pt</i>	44,400	-----	-----

Fonte: próprio autor.

Tabela L.3 - Valores médios e desvio padrão de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras das espécies deste trabalho e espécies pesquisadas por outros autores.

RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO PARALELO ÀS FIBRAS				
Espécie/Autor	Código	Média (MPa)	Desviopadrão (MPa)	C.V. (%)
<i>Phyllostachys pubescens</i> em estudo	<i>Ppe</i>	3,934	0,887	22,55%
<i>Dendrocalamus giganteus</i> em estudo	<i>Dge</i>	4,635	1,054	22,73%
<i>Guadua spp</i> (MURAD, 2011)	<i>Gs</i>	3,230	0,850	26,00
<i>Guadua weberbaueri</i> (MURAD, 2007)	<i>Gw</i>	4,050	0,690	17,00
<i>Dendrocalamus giganteus</i> (LIMA, 2013)	<i>Dg</i>	8,420	1,179	14,00
<i>Guadua angustifolia</i> (GHAVAMI; MARINHO, 2005)	<i>Ga</i>	2,017	0,345	17,32
<i>Eucalyptus grandis</i> (NBR 7190:1997)	<i>Eg</i>	7,000	-----	-----
<i>Eucalyptus saligna</i> (NBR 7190:1997)	<i>Es</i>	8,200	-----	-----
<i>Pinus elliotii var. elliotii</i> (NBR 7190:1997)	<i>Pe</i>	7,400	-----	-----
<i>Pinus taeda</i> (NBR 7190:1997)	<i>Pt</i>	7,700	-----	-----

Fonte: próprio autor.