

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

RAQUEL SCHMITT CAVALHEIRO

**Madeira Laminada Colada de *Schizolobium amazonicum* Herb. (Paricá):
combinação adesivo/tratamento preservante.**

São Carlos

2014

RAQUEL SCHMITT CAVALHEIRO

**Madeira Laminada Colada de *Schizolobium amazonicum* Herb. (Paricá):
combinação adesivo/tratamento preservante.**

VERSÃO CORRIGIDA

A versão original encontra-se na Escola de Engenharia de São Carlos

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais da Universidade de São Paulo, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Ciência e Engenharia dos Materiais.

Área de Concentração: Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Carlito Calil Junior

São Carlos

2014

À minha família: Pai, por ser meu porto seguro, me amparar e proteger sempre, Mãe e à minha amada irmã por serem minhas melhores amigas, por guiarem meus passos, iluminarem meus caminhos, colorirem as batidas do meu coração, adoçarem meus dias e viverem cada sonho ao meu lado.

Agradecimentos

- Agradeço ao Prof. Dr. Carlito Calil Junior, meu orientador, pela confiança depositada em mim e em nosso trabalho, pela oportunidade de aprendizado concedida e pela dedicação em me orientar nesta jornada.
- Ao Prof. Dr. Francisco Antônio Rocco Lahr pelo companheirismo e amizade, sempre com palavras doces de incentivo na caminhada acadêmica.
- A todos os amigos do Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeiras:
- Márcio, Amós, Maria Fátima, Ricardo, à Fabiane e Marília sempre tão queridas, ao Felipe e ao Neto por sempre colaborarem com dúvidas no laboratório, Laurenn e Luciano pela tão acolhedora recepção para como amigos de sala e ao Diego, pela paciência, apoio e diversas colaborações ao longo deste período.
- À toda equipe de funcionários do LaMEM, Bragatto, Tânia, Arnaldo, Samuel, Aparecido, Roberto e em especial ao Silvio e ao Jaime com quem por vários dias se dedicaram em especial ao desenvolvimento deste trabalho.
- À querida amiga Alessandra por estar sempre ao meu lado nos momentos mais importantes, sempre com um sorriso trazendo palavras sábias me alegrando e ensinando coisas novas.
- A Akzo Nobel Ltda. e Ita Construtora Ltda. pelos adesivos doados.
- UsiPrema em Ribeirão Bonito/SP, que realizou tratamento químico das vigas (CCB)
- Prema em Rio Claro/SP, que realizou tratamento químico das vigas (CCA)
- Prof. Dr. Alcebíades Negrão Macêdo e à Fundação Amazônia Paraense – FAPESPA através do projeto “**Silvicultura de Florestas Nativas e Plantadas para Promoção do Desenvolvimento Sustentável do Estado do Pará – Rede de Biomassa Florestal**” e pelas empresas do **Grupo Concrem** por intermédio do **Centro de Pesquisa de pesquisa do Paricá - CPP**. Que concederam o lote de madeira de Paricá utilizado neste trabalho.
- A CAPES pela bolsa concedida.
- Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais da EESC/USP.

RESUMO

Cavalheiro, R. S. Madeira Laminada Colada de *Schizolobium amazonicum* Herb. (Paricá): combinação adesivo/tratamento preservante. 2014. 102p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

A confecção e as características mecânicas e morfológicas de peças de madeira laminada colada (MLC) preparadas a partir de lamelas de *Schizolobium amazonicum* Herb, Paricá, coladas com três adesivos, Cascophen, Melamina e Pubond, após serem submetidas a dois tipos de tratamento químico preservante, arsanato de cobre cromatado (CCA) e borato de cobre cromatado (CCB) foram avaliadas. Após seleção visual das lamelas e seleção, foram determinados os módulos de elasticidade das mesmas visando a preparação de vigas com a distribuição mais uniforme possível deste parâmetro. A densidade aparente média da madeira de paricá determinada segundo a Norma NBR 7190:1997, usando todas as lamelas, após serem submetidas à seleção pela classificação visual foi igual a 370 kg/m^3 . As lamelas foram então coladas, prensadas e submetidas aos tratamentos CCA e CCB. A partir dessas peças foram cortados corpos de prova para ensaios de flexão estática, cisalhamento, delaminação e fluência, conforme a norma CSA 0112.9:2004. Os valores do módulo de elasticidade demonstraram que, vigas produzidas com Melamina, há aumento nos valores de MOE para as amostras tratadas por CCA ($7656 \pm 477 \text{ MPa}$) e CCB ($8152 \pm 570 \text{ MPa}$) em relação à amostra sem tratamento ($7171 \pm 519 \text{ MPa}$). No caso do CCA, esse aumento é menos significativo. No caso das amostras coladas com Cascophen praticamente não houve diferença estatística entre os módulos para as peças sem tratamento ($9150 \pm 672 \text{ MPa}$) e aquelas tratadas com CCA ($8764 \pm 908 \text{ MPa}$) e CCB ($9822 \pm 791 \text{ MPa}$), sendo a variação numérica maior no segundo tratamento. A mesma observação vale para as amostras coladas com Pubond sem tratamento ($8119 \pm 725 \text{ MPa}$), quando comparadas com aquelas tratadas com CCA ($8154 \pm 951 \text{ MPa}$) e com CCB ($8331 \pm 863 \text{ MPa}$). Nos ensaios de cisalhamento observou-se elevada incidência de eventos de compressão o que sugere que alta porosidade da madeira, tenha provocado a compressão do corpo de prova, em detrimento da ruptura do corpo de prova. Observou-se que a Melamina e o Pubond apresentaram a maior frequência de ruptura tipo 100% na madeira, sugerindo que esses apresentaram maior adesividade, não havendo diferença significativa entre os corpos de prova secos e saturados. Em relação à força de ruptura, notou-se, que os adesivos apresentam melhor desempenho quando secos (quando se apresentaram na ordem Melamina ($3,7 \pm 0,9 \text{ MPa}$), Pubond ($3,5 \pm 0,96 \text{ MPa}$) e Cascophen ($3,4 \pm 0,8 \text{ MPa}$)). Nenhum corpo de prova apresentou delaminação, todos permaneceram colados e praticamente intactos, o que sugere que os adesivos e os tratamentos químicos utilizados são adequados à preparação de MLC à partir de lamelas de Paricá. Os ensaios de fluência que a estabilização nos deslocamentos ocorreu em torno de 90 h, para os dois corpos de prova. Observou-se uma diminuição nos valores das linhas laterais e centrais, após ensaiadas, em relação aos valores antes do ensaio, o que pode estar relacionado com a porosidade e densidade da madeira, que permitiu a compressão irreversível do corpo de prova, sugerindo que as características da madeira são mais marcantes que o efeito do adesivo.

Palavras-Chave: Madeira, Paricá, Adesivo, Madeira Laminada Colada.

ABSTRACT

Cavalheiro, R. S. Glulam using *Schizolobium amazonicum* Herb. (Paricá) wood: Combination of adhesive/preservative. 2014. 102p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

Glued Laminated Wood timber samples were confectioned from *Schizolobium amazonicum* Herb, Paricá, using Cascophen, Melamine and Purbond adhesives, and submitted to preservative chemical treatment by cromated copper arsenate (CCA) and cromated copper bromated. These samples were characterized regarding their mechanical and morphological characteristics. After visual evaluation and selection of the lamellas they had their elasticity modulus measured in order to prepare timbers with the most uniform distribution as possible. The apparent density of Paricá wood had been determined as 370 kg/m^3 according to the NBR 7190 Standard, using all the lamellas after submitted to the visual inspection. Then the lamellas were glued pressed and submitted to the CCA and CCB treatments. From these pieces specimens for the elasticity, shear, delamination and creep tests were cut. The elasticity modulus showed that for samples glued with Melamine there was an increasing in the MOE values for samples treated with CCA ($7656 \pm 477 \text{ MPa}$) and CCB ($8152 \pm 570 \text{ MPa}$) when compared with the untreated sample ($7171 \pm 519 \text{ MPa}$). In the CCA such increase is less remarked. For Cascophen practically the same values were found for untreated ($9150 \pm 672 \text{ MPa}$) and CCA ($8764 \pm 908 \text{ MPa}$) or CCB ($9822 \pm 791 \text{ MPa}$) treated specimens. Same conclusion is valid for the Purbond glue samples once untreated ($8119 \pm 725 \text{ MPa}$) and CCA ($8154 \pm 951 \text{ MPa}$) or CCB ($8331 \pm 863 \text{ MPa}$) samples presented statistically similar MOE values. Shear tests presented high incidence of compression events, suggesting that the porosity of the Wood facilitates this behavior instead of rupture of the specimen. Melamine and Purbond glued specimens presented higher frequency of 100% in-wood rupture, reveling higher adhesion in such glues, without differences in dry or saturated samples. Regarding the rupture force all the adhesives promoted more resistance when dry, in the order: Melamine ($3,7 \pm 0,9 \text{ MPa}$), Purbond ($3,5 \pm 0,96 \text{ MPa}$) e Cascophen ($3,4 \pm 0,8 \text{ MPa}$). Any specimens presented delamination, remaining all of them intact showing that the adhesives and chemical treatments are adequate for the preparation of Laminated Glued Wood from Paricá. Creep tests revealed that the stabilization in the displacements stabilized after 90h of pressure in both the specimens that resisted until the end of the test. There was a diminishing on the length of both central and lateral glue lines, at the end of the test which can be related to the porosity and density of the Paricá wood allowing the irreversible compression of the specimens, suggesting that such characteristics are more significant than the adhesive and chemical treatment used.

Keywords: Wood, Paricá, Adhesive, Glulam

Lista de Figuras

Figura 1 - Ilustração do processo de laminação de tábuas para preparação de uma peça de MLC. Imagem do autor	18
Figura 2 - Fotografia (a) da árvore de Paricá (LORENZI, 2002), (b) plantação de Paricás (SOUZA, 2003)	20
Figura 3 - Parte do lote de madeira de Paricá utilizado neste trabalho.	37
Figura 4 - Aspecto físico do adesivo Cascophen RS-216 – M, utilizado neste trabalho	38
Figura 5 - Aspecto físico do adesivo MUF 1242 / 2542, utilizado neste trabalho.	38
Figura 6 - Aspecto físico do adesivo HB S309, utilizado neste trabalho.	39
Figura 7 - Ilustração dos defeitos encontrados na classificação visual das peças: a) rachadura de topo, b) nós e c) “brocas”.	40
Figura 8 - Fotografias dos corpos de prova sendo submetidos aos ensaios de resistência ao a) cisalhamento e b) à compressão paralela.	42
Figura 9 - Fotografias (a) do pórtico de reação montado com a amostra sob ensaio e (b) um detalhe do ponto de aplicação da força e onde foi feita a medida de flexão.	43
Figura 10 - Representação do processo de preparo das vigas. Inicialmente aplainamento (a), aplicação dos adesivos Cascophen (b1), Melamina (b2) e Purbond® (b3); prensagem (c). ..	44
Figura 11 - Dimensionamento final das vigas, gerando vigas “estreitas” e vigas “largas”, conforme a largura da base.	45
Figura 12 - Fotografias (a) do pórtico de reação montado com a amostra sob ensaio e (b) um detalhe do ponto de aplicação da força e onde foi feita a medida de flexão.	45
Figura 13 - Aspecto das amostras após tratamento CCA (a) e CCB (b).	46
Figura 14 - Vigas depois de sofrerem a ruptura para determinação do MOR.	48
Figura 15 - Representação de como 54 vigas foram cortadas para retirada dos corpos de prova a serem submetidos a todos os ensaios. (a) 6 vigas foram cortadas nessa disposição, em função das dimensões dos corpos de prova para ensaios de fluência. (b) 48 vigas foram cortadas, como representado, para ensaios de cisalhamento e ciclo de delaminação.	48
Figura 16 - (a) Modelo dos corpos de prova para ensaios de cisalhamento, para as vigas largas (15 cm) e estreitas (9 cm). (b) Detalhe do corpo de prova seco, sob ensaio de cisalhamento 100% na madeira.	50
Figura 17 - (a) Modelo dos corpos de prova para ensaios de delaminação, para as vigas largas (15 cm) e estreitas (9 cm). (b) Autoclave utilizada nos ensaios e (c) Detalhe do interior do equipamento, contendo os corpos de prova.	51
Figura 18 - (a) Modelo dos corpos de prova para ensaios de fluência. (b) Fotografia de um dos corpos de prova pronto para ensaio. (c) Equipamento de ensaio mecânico usado nos ensaios e (d) Detalhe do gabarito, contendo o corpo de prova, sob ensaio.	53

Figura 19 - (a) Lâmina cortada da viga. (b) Lamina cortada após a remoção da peça circulas (c) Corpos de prova circulares para análise no MEV.	55
Figura 20 - (a) Amostras colocadas nas peças metálicas para encaixe no microscópio. (b) Imagens no microscópio, já recobertas em ouro. (c) Imagem do equipamento de microscopia MEV.	57
Figura 21 - Diferentes situações observadas nos ensaios de cisalhamento: (a) compressão, (b) cisalhamento na linha de cola e na madeira e (c) cisalhamento 100% na madeira.	68
Figura 22 - Valores médios das forças de ruptura, f_v , para cada adesivo Cascophen (casc), Melamina (mel) e Purbond (pur), para corpos de prova seco ou saturado (sat).	72
Figura 23 - Visão geral do conjunto dos corpos de prova (a) antes e (b) após serem submetidos ao ensaio de delaminação. No detalhe, dois corpos de prova preparados com Melamina (M14) e Cascophen (C1) (c) antes e (d) após serem submetidos ao ensaio de delaminação.	76
Figura 24 - Exemplos de corpos de prova que apresentaram ruptura no momento de descarregar a carga, no início do ensaio: (a) fratura de base, (b) fratura de topo.	77
Figura 25 - Representação da marcação nas linhas laterais e central dos corpos de prova submetidos aos ensaios de fluência.	78
Figura 26 - Evolução da força com o tempo, nos dois registradores, para os dois corpos de prova que resistiram até o final do ensaio de fluência.	80
Figura 27 - Imagens da amostra 7 da viga M16. (a) corpo de prova ampliado (b) em verde, detalhes das células que aparecem entre as fibras amassadas (c) em amarelo, linha de cola, adesivo.	83
Figura 28 - Imagens da amostra 9 da viga C4. (a) corpo de prova ampliado (b) em amarelo, linha de cola, adesivo.	84
Figura 29 - Imagens da amostra 10 da viga C4. (a) corpo de prova ampliado (b) em amarelo, linha de cola, em verde as células.	84
Figura 30 - Imagens da amostra 13 da viga P16. (a) corpo de prova ampliado, detalhes em verde das células, em vermelho dos vasos e em amarelo da linha de cola (b) em amarelo, linha de cola, em verde as células.(c) detalhes em verde das células, em vermelho dos vasos e em amarelo da linha de cola.	85
Figura 31 - Imagens da amostra 18 da viga C7. (a) corpo de prova ampliado (b) em amarelo a linha de cola, em verde as células.	86
Figura 32 - Imagens da amostra 20 da viga C7. (a) corpo de prova ampliado detalhe da linha de cola bem definida em amarelo (b) em amarelo, linha de cola, em verde as células.	86

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Tipo de adesivo em função da classe de uso segundo a norma NCh2148.cR2010. (CALIL NETO, 2011).	24
Tabela 2 - Composição do CCA (%)	32
Tabela 3 - Composição do CCB	33
Tabela 4 - Descrição das amostras usadas para MEV	56
Tabela 5 - Resistência ao cisalhamento e à compressão paralela da madeira de Paricá, - segundo a ABNT NBR 7190: 1997	58
Tabela 6 - Módulos de elasticidade determinados para as vigas antes do tratamento químico, média, desvio padrão e coeficiente de variância para cada adesivo.	60
Tabela 7 - Comparação estatística entre os valores de MOE para as vigas coladas com os diversos adesivos, sem tratamento químico.	61
Tabela 8 - Módulo de ruptura de vigas coladas com os diferentes adesivos, sem tratamento químico.	61
Tabela 9 - Resultados de MOE e MOR para as vigas coladas com Cascophen.	62
Tabela 10 - Resultados de MOE e MOR para as vigas coladas com Melamina.	63
Tabela 11 - Resultados de MOE e MOR para as vigas coladas com Purbond.	64
Tabela 12 - Comparação estatística entre os valores de MOE para as vigas coladas com os diversos adesivos.	65
Tabela 13 - Comparação estatística entre os valores de MOE para as vigas coladas com os diversos adesivos, com e sem tratamento químico.	66
Tabela 14 - Resultados de f_v e análise visual para os ensaios de cisalhamento das amostras coladas com Cascophen, usando corpos de prova secos e saturados.	69
Tabela 15 - Resultados de f_v e análise visual para os ensaios de cisalhamento das amostras coladas com Melamina, usando corpos de prova secos e saturados.	70
Tabela 16 - Resultados de f_v e análise visual para os ensaios de cisalhamento das amostras coladas com Purbond, usando corpos de prova secos e saturados.	71
Tabela 17 - Frequência dos eventos observados no ensaio de cisalhamento, segundo observação visual.	72
Tabela 18 - Comparação estatística entre os valores de f_v para as amostras coladas com o mesmo adesivo e entre os adesivos, para corpos de prova secos e saturados.	73
Tabela 19 - Compressão dos corpos de prova que cisalharam.	75

Tabela 20 - Evolução das medidas de força nos relógios 1 e 2, durante os ensaios de fluência para os dois corpos de prova que resistiram até o final da medida. 79

Tabela 21 - Resultados do teste de fluência. Medição das linhas laterais e centrais dos corpos de prova que resistiram até o final dos experimentos, antes e depois dos ensaios. 81

Esquema 1 - Descrição das 24 vigas tratadas com CCA; 24 vigas com CCB e 6 vigas sem tratamento e os respectivos adesivos utilizados. 47

Sumário

1 – Introdução	14
2 – Objetivos	16
2.1 – Objetivo Geral	16
2.2 – Objetivos Específicos	16
3 – Revisão Bibliográfica	17
3.1 – Madeira Laminada Colada	17
3.2 – Madeira de Paricá (<i>Schizolobium amazonicum</i>)	19
3.3 – Adesivos para MLC	22
3.3.1 Mecanismo de Adesão	24
3.3.2 Fatores Inerentes à Adesão da Madeira	25
3.3.2.1 Massa Específica	26
3.3.2.2 Porosidade e Permeabilidade	26
3.3.2.3 Teor de Umidade	27
3.3.2.4 Extrativos da Madeira	28
3.3.2.5 Rugosidade da Superfície	28
3.3.2.6 Temperatura da Colagem	29
3.3.2.7 Pressão na Adesão da Madeira	29
3.3.3 Adesivos Utilizados para MLC	29
3.3.3.1 Purbond HB S390: Adesivo à Base de Poliuretano	30
3.3.3.2 Cascophen: Adesivo à Base de Fenol-Resorcinol	30
3.3.3.3 Melamina (MUF): Adesivo à Base de Formaldeído	31
3.4 – Tratamentos para Demanda Biológica	31
3.5 – Normas Técnicas	33
3.6 – Ensaio	36
4 – Materiais e Métodos	37
4.1 – Madeira	37
4.2 – Adesivos	38
4.2.1 - Cascophen	38
4.2.2 – Melamina	38
4.2.3 – Purbond	39
4.3 – Tratamento Contra Demanda Biológica	39
4.4 – Equipamentos	40

4.5 - Classificação Visual das Lamelas	40
4.6 - Determinação da Densidade Aparente da Madeira de Paricá	41
4.7 - Determinação das Propriedades Mecânicas da Madeira de Paricá: Resistência ao Cisalhamento e à Compressão Paralela.	41
4.8 - Ensaio de Flexão Estática nas Lamelas de Paricá	42
4.9 - Montagem das Vigas de MLC (prensagem)	43
4.9.1 - Montagem das Vigas	43
4.9.2 - Classificação Mecânica das Vigas de MLC Sem Tratamento	45
4.10 – Tratamento Contra Demanda Biológica e Classificação Mecânica pós-tratamento	46
4.10.1 – Módulo de Ruptura de Todas as Vigas	47
4.11 - Confeção dos Corpos-de-Prova	48
4.12 - Ensaio de Cisalhamento, Ciclo de Delaminação e Fluência.	49
4.12.1 – Cisalhamento	50
4.12.2 - Ciclo de Delaminação	51
4.12.3 - Fluência	52
5 - Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	55
6 – Resultados e Discussões	58
6.1 – Determinação da Densidade Aparente e das Propriedades Mecânicas da Madeira de Paricá.	58
6.2 – Módulo de Elasticidade das Lamelas	59
6.3 - Módulo de Elasticidade (MOE) e Módulo de Ruptura (MOR) das Vigas Sem Tratamento	59
6.4 - Módulo de Elasticidade (MOE) e Módulo de Ruptura (MOR) das Vigas Tratadas	62
6.5 - Ensaio de Cisalhamento	67
6.6 – Ciclo de Delaminação	76
6.7 - Ensaio de Fluência	77
6.8 – Imagens MEV	82
7 – Conclusões	87
8 – Referências Bibliográficas	88
Apêndice 1 - Dados usados para a determinação da densidade da madeira de Paricá	94
Apêndice 2 - Descrição da constituição das vigas em função do módulo de elasticidade das lamelas.	101

1 – Introdução

A pesquisa por materiais alternativos obtidos da natureza vem se tornando cada vez mais necessária, devido à escassez e, conseqüentemente elevação de custo dos materiais tradicionais. Em adição há a preocupação crescente com a preservação ambiental e dos recursos de origem natural. A construção civil não é nenhuma exceção na pesquisa por alternativas de materiais, além do consumo de recursos naturais, outro problema são os resíduos que a construção civil gera para o meio ambiente.

Assim, a madeira se torna um material extremamente importante, além de ser uma matéria-prima sustentável, tem sua fonte de produção renovável e uma possibilidade de abundância produtiva com as áreas de reflorestamento, tem um baixo consumo energético para sua produção e apresenta uma alta capacidade estrutural. E se a demanda de consumo e a produção de madeira aumentam, é também possível conseguir menores custos e maior velocidade na produção para seu uso na construção civil, comparando com os materiais atualmente utilizados no Brasil, como o aço e o concreto.

Há milhares de anos a madeira é utilizada como material da construção civil, porém por algum tempo houve menos esforços para o desenvolvimento tecnológico visando o aproveitamento da madeira quando comparado com o aço e concreto. Essa falta de conhecimento sobre a madeira e seu uso incorreto, além de algumas limitações comerciais em âmbito nacional, já começaram a mudar desde as últimas décadas, quando iniciou-se um crescente aumento na demanda por madeiras provenientes de reflorestamento as instituições de pesquisa tem se interessado pelo assunto e vem buscando melhor aproveitamento deste material nobre.

A madeira laminada colada (MLC) é um produto engenheirado à base de madeira e cola utilizada em nível estrutural. Seu desenvolvimento depende, além do estudo da madeira que é utilizada, de avanços tecnológicos e desenvolvimentos das colas aplicadas no seu preparo e de eventuais tratamentos preservativos.

A MLC se constitui de peças de madeira obtidas a partir de tábuas, lâminas de seção transversal, coladas entre si. A MLC possibilita a composição de elementos estruturais para grandes vãos e de diversas dimensões, deslumbrando um leque de opções nas formas arquitetônicas, como variações de curvas ou retas.

No Brasil, a Região Amazônica é de grande interesse para investimentos do setor florestal, além de apresentar grande variedade de espécies que possuem diferentes propriedades

e possibilitam diversos usos. Nessa região cresce o interesse pela espécie conhecida como Paricá, *Schizolobium amazonicum Herb.*, que vem apresentando bons resultados em recentes estudos e ensaios realizados com a sua madeira e na preparação de MLC, o que motivou a escolha dessa espécie para o desenvolvimento deste trabalho.

O principal objetivo do presente estudo foi determinar a melhor combinação da espécie com adesivo-preservante. A partir da preparação dos corpos de prova, estes foram ensaiados em testes de desempenho físico-mecânico, seguindo como base a norma CSA 0112.9:2004.

2- Objetivos

2.1 – Objetivo Geral

Este trabalho teve como objetivos avaliar o desempenho da madeira de *Schizolobium amazonicum*, (Paricá) para sua utilização em madeira laminada (MLC) colada. Para isso, foram determinadas as propriedades mecânicas de peças de MLC coladas com três diferentes adesivos e submetidas a dois diferentes processos de tratamentos preservativos, usando ensaios mecânicos.

2.2 – Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do trabalho foram:

- Determinar propriedades físicas e mecânicas da madeira de Paricá.
- Determinar os módulos de elasticidade das lamelas e das vigas por meio de ensaios de flexão estática.
- Determinar por meio de ensaios cisalhamento seco e saturado os valores de ruptura na linha de cola ou da madeira.
- Realizar ciclos delaminação e testes de fluência.
- Analisar a qualidade dos adesivos e sua eficiência na colagem da madeira relacionando com o tratamento contra demanda biológica

3. Revisão Bibliográfica

3.1- Madeira Laminada Colada

Denomina-se “Madeira Laminada Colada - MLC” peças de madeira confeccionadas a partir de lâminas de madeira, que possuem dimensões relativamente reduzidas quando comparadas às dimensões da peça final constituída. Essas lâminas, que são unidas por colagem, ficam dispostas de tal maneira que as suas fibras fiquem paralelas entre si (SZÜCS, 1992). A aplicação da madeira segundo o processo do laminado colado reúne duas técnicas bastante antigas. Como o próprio nome indica, a madeira laminada colada foi concebida a partir da técnica da colagem, (cujos representantes mais antigos foram encontrados em baús egípcios que usavam colas orgânicas), aliada à técnica da laminação, ou seja, da reconstituição da madeira a partir de lâminas técnica esta bem mais recente, remontando ao final do século XIX (SZÜCS, 1992; GRAEFF, 1995).

A redução da disponibilidade de espécies de madeiras nativas impulsionou o desenvolvimento de técnicas novas, para a utilização da madeira proveniente de florestas manejadas. Razão pela qual madeira laminada colada (MLC) é um produto de engenharia utilizado largamente na Europa, nos Estados Unidos e no Canadá, podendo ser confeccionado a partir de praticamente todas as espécies de madeira e mesmo daquelas obtidas de árvores jovens e de pequeno diâmetro (SEGUNDINHO et al., 2013). Atualmente não é viável o uso da madeira de árvores com maior idade, consideradas necessárias para fornecer uma alta resistência e grande envergadura para o projeto arquitetônico, (YANG et al., 2008). Por essa razão, uma de suas maiores vantagens é aproveitar uma grande quantidade de peças com pequenas dimensões, por se tratar de produto obtido pela associação de lâminas de madeira, que requer precisão de fabricação em todos os seus estágios. As lâminas, unidas por colagem, ficam dispostas de modo que suas fibras estejam paralelas entre si (BODIG; JAYNE, 1993) e formem um componente estrutural. Tais lâminas de madeira são selecionadas e coladas com adesivo à prova d’água, sob pressão variável de 0,7 a 1,5 MPa. Outro fator importante é a utilização qualitativa de peças de madeira de primeira categoria, conforme especificado pela norma brasileira NBR 7190 (ABNT, 1997), usando as de maior classe de resistência nas regiões mais solicitadas. Pode-se também variar a espécie de madeira na estrutura, de acordo com a solicitação de resistência das laminações em cada região da viga (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999).

Os produtos estruturais derivados de madeira, tal como a MLC, têm propiciado novos campos de aplicação para a madeira cumprindo os requisitos das construções modernas. A investigação da MLC é relevante para a área inserida refletindo o estado da arte e a tecnologia atual.

A grande maioria dos trabalhos de elementos estruturais em MLC é direcionada com a madeira de Pinus e eucalipto, espécies que não pertencem à flora nativa brasileira (TEREZO; SZÜCS, 2010). Dessa maneira, é importante investigar madeiras nativas principalmente aquelas provenientes de florestas plantadas, que venham a se adaptar a técnica de produção e desenvolvimento da MLC.

Neste projeto foram utilizadas dimensões especificadas pela norma CSA 0112.9:2004 para a confecção dos corpos de prova a serem ensaiados. A estabilidade dimensional da madeira é significativa, assim a MLC apresenta uma excelente resistência mecânica devido ao seu peso, relativamente leve quando comparado a outros materiais estruturais.

A Figura 1 ilustra o processo de preparação de um arranjo de MLC a partir de lamelas (tábuas) unidas entre si por camadas de adesivo.

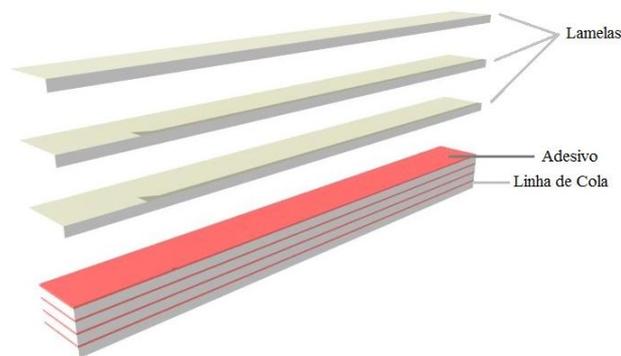


Figura 1 - Ilustração do processo de laminação de tábuas para preparação de uma peça de MLC. Imagem do autor.

Para melhor utilização da madeira como material estrutural é necessário conhecer suas propriedades físicas e mecânicas, entre outras, para que se possa empregar racionalmente este material. Pesquisas adequadas definem características das madeiras para que se possa transformar esta matéria-prima em um produto engenheirado, com o melhor aproveitamento possível.

Existem na literatura diversos trabalhos relacionados a análise do desempenho de vigas estruturais em MLC produzidas com diferentes madeiras em função do adesivo, tratamento térmico (CALIL NETO, 2011).

Entretanto, a análise do desempenho de vigas estruturais em MLC produzidas com a espécie Paricá (*Schizolobium Amazonicum* Huber ex. Ducke) apresenta poucos relatos na literatura. Dentre estes se pode destacar o trabalho empregando-se os adesivos à base de Resorcinol-Formaldeído e de emulsão polimerizada com isocianato, com base nos resultados obtidos pelos testes de resistência a flexão, cisalhamento e tração normal às linhas de colagem, mostraram que se pode recomendar o uso desta espécie para a fabricação de vigas em MLC com critérios de cálculo da classe C-20 de resistência tendo desempenho compatível com vigas serradas. Apesar da baixa densidade, isso pode ser um fator positivo para a colagem (TEREZO; SZÜCS, 2010).

3.2- Madeira de Paricá (*Schizolobium amazonicum* Herb.)

A árvore de Paricá (*Schizolobium amazonicum* Herb, Figura 2) é uma caducifólia considerada de grande porte com altura na faixa de 20 a 30 m que ocorre na mata primária de terra firme e várzea alta e também em florestas secundárias, podendo formar, em algumas regiões, capoeiras com grande dominância monoespecífica (ROSSI et al.). Possui copa pouco densa com ramificação cimosa, tronco cilíndrico e reto. A casca externa é lisa e verde quando jovem, tornando-se cinza-amarelada com manchas brancas quando adulta, com lenticelas e marcas anulares provenientes da cicatriz das folhas.

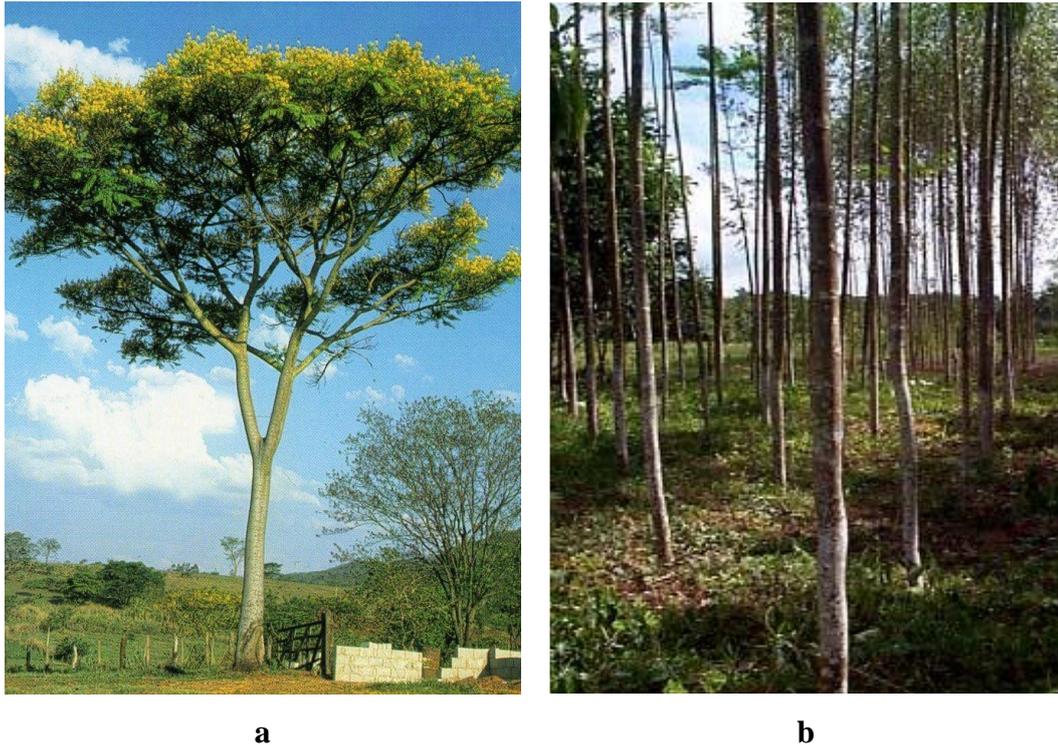


Figura 2- Fotografia (a) da árvore de Paricá. (LORENZI, H.,2002); (b) plantação de paricás (SOUZA, C.; ROSSI, L. M. B.; AZEVEDO, C. P.; VIEIRA, A. H., 2003)

O gênero *Schizolobium* possui uma única espécie: *S. parahyba*, com duas variedades - *amazonicum* (Hub.) Ducke e *parahyba* (Vell.) Blake. Outra espécie foi descrita por Pittier para a América Central, entretanto esta espécie nunca mais foi coletada desde então (Pio Correa, 1952). As duas variedades são bastante semelhantes, possuindo praticamente as mesmas características, o que fez com que fossem consideradas por um longo tempo como uma só. As características principais que diferenciam *S. parahyba* var. *amazonicum* de *S. parahyba* var. *parahyba* são que a primeira possui flores menores, pétalas mais oblongas, rígidas e glabras, frutos e sementes bem menores, pedicelos distintamente articulados e florescimento sem folhas (DUCKE, 1949; PIO CORREA, 1952).

A espécie *S. parahyba* var. *parahyba* tem sua área de ocorrência desde o norte do México até o sul do Brasil, sendo que no Brasil ocorre na Mata Atlântica (floresta pluvial da encosta atlântica) desde a Bahia até o norte do Rio Grande do Sul. Já a *S. parahyba* var. *amazonicum* tem sua ocorrência restrita à Bacia Amazônica, no Brasil, Bolívia e Venezuela (SOUZA et al., 2003). A madeira é leve, com peso úmido de 650 kg/m³ e peso específico básico a 12% de umidade entre 320 e 400 kg/m³ (ROSSI et al., 2001). A cor é branco-palha ou amarelo-pálido com manchas amareladas e rosadas, não havendo distinção entre o alburno e o cerne. O desenho é pouco definido, com linhas verticais, com faixas largas irregulares de coloração mais

escura. A superfície é lisa ao tato, sedosa e irregularmente lustrosa, textura média a grossa, uniforme, grã irregular e reversa. A madeira maciça tem facilidade em ser serrada e a secagem possui riscos de deformações e rachaduras leves. A trabalhabilidade é boa e o uso de pregos e parafusos é limitado devido à baixa capacidade de fixação. A durabilidade natural é baixa, sem resistência ao ataque de fungos, cupins e insetos de madeira seca (SOUZA et al., 2003).

A principal praga do Paricá é a broca-dos-troncos, comumente denominada mosca-da-madeira (*Rhaphiorhynchus* sp.). As larvas das moscas que atacam o Paricá perfuram o tronco no sentido radial, formando canais simples ou ramificados, mas sempre com abertura para a saída de serragem e seiva. Com o ataque, a árvore pode ter sua madeira inviabilizada para a industrialização devido à presença de galerias.

A elevada resistência mecânica frente a sua baixa densidade, torna a madeira um excelente material estrutural quando comparado a outros materiais, tais como o concreto e o aço. Neste sentido, é importante conhecer suas características por meio de ensaios adequados. Determinar suas propriedades e sua respectiva variabilidade conduzirá o engenheiro a empregar a madeira em uma obra de maneira segura econômica. Diversos estudos realizados por institutos de pesquisa brasileiros sobre propriedades físicas e mecânicas da madeira de Paricá de florestas nativas foram compiladas por Terezo (2010). Os estudos revelaram que há diferença entre os valores determinados entre os gêneros, e principalmente entre as duas procedências da mesma espécie. O Paricá proveniente da reserva florestal de Carajás apresentou densidade básica de 240 kg/m^3 e o Paricá da floresta nacional do Tapajós encontrou-se um valor de 490 kg/m^3 . Uma diferença de 102%. A discrepância nos valores da espécie *Schizolobium amazonicum* pode ter sido causada devido a cargas genéticas diferentes e por seu desenvolvimento em regiões com microclima e solos distintos.

Vidaurre (2010) estudou as propriedades mecânicas do *Schizolobium amazonicum* (paricá) em função da idade e da posição no tronco (radial e longitudinal). Seus estudos revelaram que a densidade é baixa, com tendência ao aumento com a idade. A média da densidade para madeira de 5 anos foi igual a 262 kg/m^3 e de 11 anos foi 303 kg/m^3 . Como consequência da densidade baixa os estudos revelaram que os valores das propriedades mecânicas foram baixos.

A madeira de Paricá apresenta uso potencial para diversas aplicações: (TAVARES; YARED; SIVIERO, 2006; CARVALHO, 2007).

- a) *Como madeira*: a produção de lâminas médias ou miolo de compensados, brinquedos, caixotaria leve, portas e parquet. No Pará, são produzidas chapas de

compensados de alta qualidade e uniformidade, que são exportados principalmente para os Estados Unidos. Produz lenha de qualidade razoável.

- b) *Produção de Celulose e papel*: o paricá é uma espécie promissora para a produção de pasta para celulose, destacando-se seu fácil branqueamento e as excelentes resistências obtidas com o papel branqueado. Apresenta alto teor de lignina (34,70 %), mas pode ser facilmente deslignificada.
- c) *Medicinal*: em medicina popular, essa espécie é usada contra disenteria e hemorragia uterina. Na Região de Barcarena, Pará, o chá da casca do tronco batida é recomendada para curar a diarreia.
- d) *Em plantios em recuperação e restauração ambiental*: a espécie é recomendada, também, para restauração de ambientes ripários em locais não sujeitos a inundação.

Atualmente o principal uso da madeira de *S. parahyba* var. *amazonicum* é para a produção de lâminas para fabricação de compensados.

Do ponto de vista empresarial às plantações de Paricá, muito embora ainda as necessidades estejam aquém de atender a demanda por lâminas e compensados, mostra o crescimento do setor. De modo geral, a produtividade do Paricá tem alcançado de 25 a 30m³/ha/ano e pode ser aumentada com o processo de melhoramento genético aliada a outras práticas silviculturais. Uma característica importante apresentada, quando da exploração dos povoamentos de Paricá, é a boa capacidade de rebrota. Porém, ainda são fundamentais pesquisas mais aprofundadas para analisar a viabilidade do seu manejo em relação à utilização de sucessivas rotações por rebrotação (TAVARES; YARED; SIVIERO, 2006).

3.3 – Adesivos para MLC

A função de um adesivo é manter unidos outros materiais em sua superfície. Estes materiais são chamados de substratos que é um termo usado para sólidos unidos por adesivos, tais como a madeira e são interligados através da adesão.

Os adesivos de madeira vêm sendo utilizados e aperfeiçoados durante muitas décadas na medida em que as pesquisas avançam. Estes adesivos apresentam uma enorme importância industrial uma vez que mais de dois terços dos produtos de madeira hoje no mundo são totalmente ou parcialmente unidas utilizando-se um tipo de adesivo. A razão é que a ligação

adesiva oferece muitas vantagens frente a outros métodos de junção para componentes de madeira (PIZZI; MITTAL, 2011).

O primeiro adesivo estrutural de grande importância foi a caseína que deu origem a técnica do laminado colado substituindo as braçadeiras metálicas utilizadas no século XIX na Europa. A madeira laminada colada chegou no Brasil na década de 30. Com o surgimento das colas sintéticas houve um grande sucesso no desenvolvimento dos MLC. O fenol-formaldeído foi primeiro adesivo sintético desenvolvido (1929), depois veio a uréia-formaldeído (1931), no final da década de 30 surgiu a Melamina-formaldeído resorcina-formaldeído (1943). Na sequência surgiram os adesivos termoplásticos (TSOUMIS, 1991).

A maior parte dos adesivos estruturais desenvolvidos é para madeira de coníferas e não para madeira de folhosas. No sentido de ampliar a utilização destas madeiras e aprimorar a qualidade de adesão novas formulações de adesivos e madeiras alternativas vêm sendo investigadas (ZANGIÁCOMO, 2003; ZANGIÁCOMO; ROCCO LAHR, 2002).

Em relação à madeira laminada colada (MLC) uma importante característica do adesivo é manter a durabilidade e integridade ao longo da vida da estrutura desta. Dessa maneira, os adesivos para fins estruturais devem produzir ligações de resistência e durabilidade tais que a integridade da ligação colada seja mantida por toda a vida esperada da estrutura nas condições climáticas de uso.

O uso de adesivos para colar a madeira apesar de ser uma prática muito antiga não é tão simples considerando que existem diversas variáveis envolvidas. As variáveis vão desde a característica do adesivo, ao processamento da madeira até a influência do ambiente na estrutura colada (SZÜCS; VELLOSO, 2004). Portanto, manter duas superfícies aderidas exige a escolha adequada do tipo de adesivo em função das propriedades da madeira a ser colada. Além do tipo da madeira deve-se também considerar o efeito da temperatura ambiente e da umidade relativa do ar que afetam o teor de umidade da madeira, enquanto flutuações de carga e alterações na estrutura também podem influenciar em longo prazo o desempenho (RAKNES, 1997).

Desse modo, os adesivos são selecionados pela sua classe de uso (condições climáticas de uso), espécie de madeira, o tipo de preservativo além dos métodos de fabricação de modo a obter juntas duráveis e resistentes.

Em relação às classes de uso segundo a norma NCh2148.cR2010 os elementos estruturais laminados podem se ajustados em três classes: (i) classe de uso 1 (interior), classe de uso 2 (exterior coberta) e classe 3 (exterior) (CALIL NETO, 2014).

Por outro lado, para assegurar a integridade da ligação das lamelas coladas durante a sua vida útil, a norma chilena NCh2148.cR2010 estabelece que os adesivos são classificados em tipo I

e II. Os adesivos do tipo I são utilizados para condições de serviço de interiores, já os do tipo II podem ser utilizados em qualquer situação.

A Tabela 1 apresenta a classificação do tipo de adesivo em função da classe de uso segundo a norma chilena.

Tabela 1 – Tipo de adesivo em função da classe de uso segundo a norma NCh2148.cR2010 (CALIL NETO, 2014).

Tipo de Adesivo	Classe de uso	Umidade de equilíbrio da madeira (%)	Temperatura (°C)
I	1 (interior)	≤12%	< 50
I	2 (exterior e coberto)	≤18% para madeiras sem preservação	< 50
II		≤20% para coníferas com preservação	Qualquer
II	3 (exterior)	Qualquer	Qualquer

As recomendações dos fabricantes de adesivos em relação à mistura, condições ambientais para aplicação e cura, teor de umidade dos elementos e outros fatores relevantes para o uso adequado do adesivo devem ser seguidos. Nas peças fabricadas com adesivos que necessitem de um período de condicionamento após o período de pega, até que atinja a resistência completa, a aplicação de carga deve ser evitada pelo tempo necessário. [BT/PEF/9602 ISSN 0103-9822].

3.3.1 Mecanismo de Adesão

Não existe uma única teoria de adesão que possibilita a relação entre adesão efetiva e as interações intermoleculares e interatômicas, que ocorrem entre o adesivo e o material aderido, seja ela na interface ou na interfase. Desse modo, os mecanismos adesão podem ser interpretados por meio de diferentes teorias: mecânica, de difusão de polímeros e adesão química.

Na teoria mecânica, o adesivo na forma líquida possuía a capacidade de penetrar nos substratos porosos devido a sua fluidez. Na etapa seguinte ocorre a solidificação do material com a formação de “ganchos” intensamente fixos entre os substratos (DIAS,2005; IWAKIRI, 1998). Na maioria dos casos, o aumento da adesão pela ligação mecânica pode ser atribuído

simplesmente ao aumento da área interfacial devido a rugosidade da superfície e quanto as características do substrato permitem a penetração do adesivo nos poros e cavidades (SCHULTZ; NARDIN, 1994).

Na teoria de difusão de polímeros, a adesão ocorre por meio da difusão de fragmentos de cadeias polimérica a nível molecular por através da interface, que possibilita a absorção gradual. Esse mecanismo supõe que as cadeias poliméricas são suficientemente móveis e solúveis entre si. Para muitos problemas da adesão, tal como nos processos de penetração e solidificação este fato é de grande importância. Desse modo, se o fenômeno da interdifusão está envolvido, a resistência da junta irá depender de diferentes fatores, como tempo de contato, temperatura, natureza e peso molecular dos polímeros (SCHULTZ; NARDIN, 1994).

Por outro lado, na teoria de adesão química o fenômeno de adesão ocorre por meio de ligações químicas iônicas ou covalentes e/ou forças intermoleculares secundárias. A resistência relativa ou energia de colagem de cada tipo de interação depende da força de ligação. Por exemplo, as ligações covalentes em geral apresentam energias na ordem de 100 a 1000 kJ/mol e as interações de Van der Waals e ligações de hidrogênio não passam de 50 kJ/mol. O tipo de ligação química depende da reatividade entre o adesivo e o substrato (SCHULTZ; NARDIN, 1994).

3.3.2 Fatores Inerentes à Adesão da Madeira

Há diversos fatores que são responsáveis pela qualidade de uma ligação adesiva, alguns estão ligados ao aderente madeira e podem ser anatômicos, físicos ou químicos. Por outro lado, existem os fatores relacionados ao ambiente como a umidade e variação da temperatura.

3.3.2.1 Massa Específica

O balanço entre os espaços vazios das células e a fração parede celular é definido como a massa específica, uma propriedade física de grande importância na determinação da qualidade da madeira e um dos fatores que afetam a adesão. Dessa maneira, quanto mais denso é o material menor é o volume de vazios existentes e maior é a quantidade do material no caso da madeira aparedada celular. Portanto, madeiras mais porosas possuem uma massa específica mais baixa que madeira menos porosas (BASSET, 1960).

Até uma faixa de massa específica de 0,7 e 0,8 g/cm³ o seu aumento tende a aumentar a resistência da linha adesiva. A partir deste ponto há uma tendência de diminuir a resistência à ligação colada. A porcentagem de falhas que ocorrem em ensaios de cisalhamento é inversamente proporcional a massa específica da madeira. Quando a madeira apresenta massa específica elevada o grau de dificuldade de adesão aumenta. Neste caso, a madeira possui menos espaços vazios (poros) dificultando a penetração do adesivo no interior da madeira diminuindo o ancoramento feito pelo adesivo. Em adição, as peças de madeira de massa específica elevada não aceitam, por completo, a conformação dada pelo sistema de prensagem. Então, o contato íntimo é débil entre as peças a serem coladas (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 2010).

3.3.2.2 Porosidade e Permeabilidade

O inverso da massa específica é o que se denomina de porosidade, madeiras mais densas possuem menos poros ou poros de menor tamanho. A permeabilidade é o termo usado definir a taxa de fluxo de gases e fluidos na madeira. A permeabilidade está relacionada com o tamanho das passagens disponíveis para fluir um líquido ou gás. A permeabilidade lateral (plano radial e tangencial) é muito menor que na direção longitudinal devido ao grande número de cavidades expostas (PANSKIN, 1980).

Tanto a porosidade como permeabilidade afeta a adesão. A adesão mecânica depende fundamentalmente da disposição de espaços vazios para que ocorra a penetração do adesivo na madeira e que os espaços vazios não estejam bloqueados. Assim, com a cura do adesivo corre

a fixação deste por ancoramento. Se ocorrer penetração excessiva em profundidades maiores uma ligação fraca pode gerada. Isto explicaria em parte os valores baixos encontrados da resistência de emenda de topo, onde existe um número grande de vazios com penetração excessiva do adesivo, gerando ligações fracas (LATORRACA; ALBUQUERQUE, 2005).

3.3.2.3 Teor de Umidade

O conteúdo de umidade da madeira é um fator muito importante na união das peças com adesivos (MOTTA; OLIVEIRA; ALVES, 2012).

As faixas de umidade de melhor adesão para a madeira estão entre 6-14% valores abaixo do valor inferior requerem uma formulação específica do adesivo. A colagem de madeira com teores de umidade maiores que as condições ambientes resultarão em defeitos e problemas como: rachaduras, empenamentos, juntas abertas nas pontas e até descolamento. Tanto madeira muito úmida quanto madeira muito seca são problemáticas para colagem. Além disto, a umidade das peças de madeira deverá estar uniforme para assegurar uma adesão ótima. PROPERZI et al., 2003; afirmam que adesivos mais tradicionais não colam acima de 12-14% de umidade relativa, caso contrário eles necessitam ficar muito tempo na prensagem (de 4 a 7 dias) até que a umidade da madeira fique em equilíbrio com o ar (PROPERZI; PIZZI; UZIELLI, 2003).

A madeira normalmente é seca a uma umidade compatível com a sua condição de uso para evitar possíveis tensões. Assim, os adesivos rígidos devido a pouca deformação sofrida, normalmente desenvolvem tensões mais elevadas na linha de cola e adjacência. Os adesivos mais dúcteis, devido a sua maior capacidade de deformação, trabalham melhor em linhas adesivas tencionadas resultando numa linha de cola com menos tensão (CHANS et al., 2010; FOREST PRODUCTS LABORATORY, 2010;. CUSTÓDIO; BROUGHTONB; CRUZ, 2009).

3.3.2.4 Extrativos da Madeira

A composição química da madeira (principalmente o teor de extrativos) e suas interrelações com a adsorção/dessorção de umidade e com a retração volumétrica têm sido objeto de diversos estudos (JANKOWSKY, 1979). Durante o processo da cura ou secagem que utiliza temperaturas elevadas, os extrativos tendem a migrar para a superfície onde eles se concentram e fisicamente bloqueiam o contato do adesivo com a madeira. Isto impede o ancoramento do adesivo após a cura, gerando uma fraca ligação mecânica. Além disso, gomas polissacarídicas, resinas insolúveis em água e óleos voláteis são hidrofóbicos, ou seja, repelem a água. Grande número de adesivos utilizados em madeira utiliza a água como carreador. Isto gera problema de umedecimento, fluxo e penetração da superfície coberta pelo extrativo (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 2010; SKEIST 1990).

Outra influência do extrativo se dá com a variação do pH da superfície da madeira. Desse modo, extrativos depositados na superfície que possuem caráter ácido podem interferir na cura de um adesivo alcalino acelerando o processo de cura, reduzindo o umedecimento, fluxo e penetração do adesivo. O mesmo acontece se o adesivo possuir caráter ácido, retardando a cura do adesivo (BLOMQUIST, 1981).

3.3.2.5 Rugosidade da Superfície

A textura da superfície da madeira varia tende a variar de espécie para espécie. Portanto, a condição da superfície é fundamental para uma boa ligação do adesivo. As irregularidades de superfície da madeira são depressões e ondulações resultantes da perda de células e também pela danificação parcial ou total dos elementos anatômicos. Estas irregularidades de superfície são chamadas de rugosidade. Superfícies paralelas e planas permitem que o adesivo flua livremente e formar uma camada uniformemente fina que é essencial ao melhor desempenho dos adesivos (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 2010).

3.3.2.6 Temperatura da Colagem

Outro importante fator a qualidade da colagem é a temperatura. Esta controla o tempo de cura e a viscosidade que diretamente afetam a capacidade do adesivo se espalhar e ser absorvido. A temperatura ambiente recomendada para colagem é em torno de 20°C. Os adesivos podem ser utilizados abaixo desta temperatura, mas nunca abaixo de sua temperatura mínima de uso, pois resultaria em uma junção fraca, em virtude da calcinação do adesivo. (MELOTTO, 2007).

3.3.2.7 Pressão na Adesão da Madeira

Outro fator inerente na adesão da madeira é a pressão que influencia na penetração do adesivo na madeira. À pressões muito altas gera-se movimentação excessiva do adesivo fazendo com que ele transborde para fora da junção colada, enquanto pressões muito baixas podem diminuir a penetração do adesivo na madeira. A pressão na adesão também pode variar em função da massa específica da madeira. Existem diversos relatos na literatura que podem comprovar este fato (MANTILLA CARRASCO, 1989; JESUS; CALIL Jr; CHIERICE, 2000; NASCIMENTO et al., 2002; ZANGIÁCOMO; ROCCO LAHR, 2002).

3.3.3 Adesivos Utilizados para MLC

Em construções de madeira, existe uma série de tradicional adesivos estruturais de madeira que foram usados ao longo do tempo. Com o desenvolvimento desses adesivos sintéticos termo endurecedores, a MLC pode ser exposta a ambientes exteriores sem preocupação de rompimento da linha de cola (DAVIS, 1997).

Entre os adesivos estruturais há possibilidade do emprego com destaque para adesivo à base de poliuretano líquido (Purbond) à base de Fenol-Resorcinol (Cascophen) e à base de Folmaldeído (Melamina).

3.3.3.1 Purbond HB S390: Adesivo à Base de Poliuretano

O poliuretano é matéria-prima para adesivos tendo aplicações nos setores industriais de têxteis e madeira e de produtos de couro. Este adesivo é classificado como Tipo 1 – adesivo para uso estrutural. Para a união de peças de madeira, o sistema adesivo requer a umidade contida na madeira. Os elementos de madeira são colados automaticamente e em toda a superfície. Através da pressão exercida, bem definida obtém-se uma colagem de alta qualidade. No processo de colagem, a água contida no substrato (umidade da madeira) reage com uma parte do isocianato liberando dióxido de carbono (CO₂) e formando uma amina. Durante a reação o adesivo expande-se ligeiramente. Em seguida, a amina reagem muito rapidamente com um outro isocianato, resultando uma estrutura reticulada como nos sistemas bicomponentes (ADESIVOS PURBOND PARA ESTRUTURAS DE MADERIRA, 2009)

De acordo com Radovic e colaboradores (2003) PU é um dos poucos adesivos comerciais aprovados e utilizados na Europa para aplicação de madeira verde que apresentam resultados satisfatórios. Em seu trabalho os autores analisaram vigas de madeira laminada coladas Purbond, submetidas à carga permanente por mais de dez anos (RADOVIC; ROTHKOPF, 2003).

3.3.3.2 Cascophen: Adesivo à Base de Fenol-Resorcinol

Este adesivo é especialmente recomendado para colagens resistentes à água fria ou fervente, muitos solventes orgânicos, a fungos e mofo, ao calor seco ou úmido, etc. Dentre suas aplicações, destacam-se barcos, escadas, caixas d'água, hélices, vigas de MLC entre outros, onde a colagem ficará exposta temporária ou definitivamente à ação da intempérie. As baixas temperaturas elevam a viscosidade da cola, reduzindo sua penetração. O aquecimento posterior à aplicação na madeira não aumenta esta penetração, resultando numa colagem muito fraca ou defeituosa.

3.3.3.3 Melamina (MUF): Adesivo à Base de Folmaldeído

É um bi-componente, ou seja, precisa de um catalisador. São adesivos classificados como polímeros termorrígidos e produzidos por uma reação de condensação entre a Melamina, a uréia e o formaldeído. O MUF pode ser formulado para proporcionar vários graus de resistência à água e ao tempo para uso externo, interno e na presença de umidade. É utilizado em aglomerados que requerem uma resistência maior à água, MDF, portas, divisórias e painéis (AZAMBUJA, 2006).

3.4 – Tratamentos para Demanda Biológica

A madeira, por ser um material de origem vegetal, depende das condições ambientais na qual esteja submetida, podendo ser deteriorada por agentes biológicos bactérias, fungos, insetos, brocas marinhas. Quando a aplicação do uso envolve a possibilidade de haver degradação biológica, é necessário o uso de espécies de durabilidade natural alta ou de baixa durabilidade submetidas a tratamento preservante. Espécies de alta durabilidade tem origem nas florestas tropicais. Portanto, a utilização de espécies provenientes de florestas plantadas e que venham a ser submetidas ao tratamento preservante pode ser uma alternativa (REVISTA DA MADEIRA, 2002).

A preservação química esta entre as diferentes alternativas de preservação da madeira e tem por base impregnação da madeira com produtos químicos que a torne tóxica aos organismos que a utilizam como fonte de alimento. Apesar da toxidez e riscos de manuseio esse método é a forma mais utilizada na prevenção do ataque biológico.

Os tratamentos à pressão superior do ambiente são considerados os mais eficientes, em razão da distribuição e penetração do preservante na peça tratada. Esses processos são classificados em processos de célula cheia e de célula vazia, em função da distribuição do preservante nas fibras da madeira.

Os principais preservantes utilizados para evitar a degradação biológica da madeira são o creosoto um preservante oleoso e o CCA e CCB que são preservantes hidrossolúveis. O preservante CCA, “Chromated Copper Arsenate”, em português o nome que designa o

preservante é Arseniato de Cobre Cromatado e o preservante CCB, “Copper Chrome Borate” (Boro de Cobre Cromatado).

Industrialmente a maioria dos produtos hidrossolúveis tanto à base de Cobre, Cromo e Arsênio, com à base de Cobre, Cromo e Boro começaram a ser utilizados nas décadas de 50 e 60 (CAVALCANTE, 1979).

Deste então, as porcentagens dos ingredientes do CCA e CCB foram alteradas, como resultado existe três formulações básicas disponíveis no mercado: tipo A, tipo B e tipo C (LEPAGE, 1986).

O Produto CCA é uma combinação de sais de óxido de Cobre (CuO), trióxido de Cromo (II) Cr₂O₃ e o Arsênio que possui ação fungicida e inseticida. Seus ingredientes em contato com a madeira reagem quimicamente com as células da madeira, fixando-se e tornando-se insolúvel. O CCA é hidrofóbico devido à formação de um complexo polimérico, o preservante torna-se insolúvel no interior da madeira e não sofre lixiviação (WILKINSON, 1979). Após o tratamento, a madeira adquire coloração esverdeada, mas não exala odores ou vapores tóxicos. O tratamento com CCA é adequado para ambientes internos e externos e madeiras com ou sem contato com o solo. Estudos de campo indicaram que o produto perde eficiência nas regiões com incidência térmica (EATON, 1993). Após o tratamento com CCA a madeira tratada tende a perder resistência, principalmente tenacidade. Atribui-se essa perda as alterações no valor pH que ocorre após o primeiro estágio da insolubilização do CCA. (EVANS, 2000). O uso da madeira tratada com CCA em contato com o cimento, que contém cálcio em ambiente úmido, reduz a ação preservante contra alguns organismos xilófagos. A Tabela 2 apresenta os três diferentes tipos composição em porcentagem para o CCA .

Tabela 2 – Composição do CCA (%) (PRODUTOS PRESERVANTES DE MADEIRA)

Componente	Tipo A	Tipo B	Tipo C
Cr ₂ O ₃	65,5	35,3	47,5
CuO	18,1	19,6	18,5
As ₂ O ₅	16,4	45,1	34,0

Devido à preocupação de se utilizar o Arsênio em determinados tipos de ambiente em que a madeira é utilizada, surgiram preocupações sobre a exposição do usuário da madeira tratada com o CCA. Mesmo existindo pesquisas comprovando não haver riscos de contaminação de solo por lixiviação deste elemento químico. Procurou-se desenvolver novos produtos com o objetivo de substituir o Arsênio do produto CCA dando origem ao conhecido

como CCB um produto alternativo ao CCA, tendo como diferença a utilização do elemento boro em substituição do Arsênio.

No CCB há uma sensível perda na resistência da lixiviação e na eficiência da proteção da madeira à insetos, especialmente para madeira a ser instalada por longos prazos. O produto CCB é uma combinação de sais de óxido de Cobre (CuO), trióxido de Cromo (Cr₂O₃) e Ácido Bórico conhecidos como sais de Wolman. O produto CCB, é um produto desenvolvido para tratamento de madeira, já que contém na sua composição o Cobre, que age como fungicida, evitando a ploriferação de fungos e o apodrecimento da madeira tratada. Por outro lado, o Ácido Bórico age como bactericida, evitando o ataque de insetos xilófagos como a broca, cupins, carunchos etc (TRATAMENTO DA MADEIRA).

A Tabela 3 apresenta a formulação considerada como típica do CCB, a qual contém 40% de ingredientes ativos em relação à massa seca do sal resultante:

Tabela 3. Composição do CCB (PRODUTOS PRESERVANTES DA MADEIRA)

Sais	Porcentagem
CuSO ₄ .5H ₂ O	35,8
H ₃ BO ₃	22,4
K ₂ Cr ₂ O ₇	38,5
NaHSO ₄	2,10

Os tratamentos das lamelas que darão origem às peças de MLC devem ser feitos com produtos que não interfiram na aderência da cola, além de garantirem a durabilidade e a proteção biológica satisfatória para o elemento (NBR 7190:2011).

De acordo com a NBR 7190:2011, admite-se também que o tratamento preservativo seja feito após a fabricação do MLC, desde que o produto utilizado não deteriore as juntas coladas (GRANATO, 2011).

3.5 Normas Técnicas

As normas técnicas referentes as especificações tem o objetivo de fornecer um sistema de controle de qualidade guiado pelas ações que são realizadas pelo do fabricante na direção de

satisfazer requisitos necessários de uma norma de controle de qualidade no que diz respeito à linha de produção de um produto (AITC 115, 2005).

Um programa de qualidade conta com diversos especialistas que compreendem a importância do processo de certificação para conseguir a credibilidade do consumidor e a qualidade final do produto.

Nesse sentido, para prever o desempenho estrutural da MLC com base no programa de qualidade é necessária a realização de ensaios diários, sistemas de avaliação em pontos estratégicos da produção e supervisão constante durante o processo de produção. Tais tarefas devem ser auditadas e verificadas por inspetores credenciados (CALIL NETO, 2011).]

Levando-se em conta que não há disponível uma norma específica de qualificação para os fabricantes de MLC no Brasil o presente estudo seguiu recomendações baseadas nas Normas Canadenses CSA 0177-2006 para a realização de ensaios de cisalhamento, ciclo de delaminação e fluência. A norma chilena NCh2148.cR2010 foi utilizada para auxiliar a definição do adesivo a ser utilizado.

Por outro lado, utilizou-se a norma brasileira NBR 7190/97 referente a MLC que é baseada na norma americana A190.1-2007 que detalha os métodos dos materiais de MLC. A referida norma caracteriza as propriedades da madeira laminada colada para projeto de estruturas devendo ser feita a partir de corpos-de-prova extraídos das peças estruturais fabricadas. Para as peças de grande porte, permite-se aceitar os resultados fornecidos pelo controle de qualidade do produtor, sob sua responsabilidade à luz da legislação brasileira. Para emprego da madeira laminada colada, de acordo com esta norma, admitindo para ela as mesmas propriedades da madeira das lâminas, devem ser realizados os seguintes ensaios específicos, com o que se especifica no anexo B:

- a) cisalhamento na lâmina de cola;
- b) tração à lâmina de cola;
- c) resistência das emendas dentadas e biseladas.

A caracterização das propriedades de madeira compensada e da madeira recomposta para projeto de estruturas deve ser feita a partir de corpos-de-prova confeccionados com material extraído do lote a ser examinado, de acordo com normas específicas. Além disso, esses materiais devem ser ensaiados por métodos padronizados para verificação de sua durabilidade no meio ambiente para o qual se pretende o seu emprego (NBR 7190/97).

A Norma Canadense CAN/CSA 0177 vigente a partir de 06 de fevereiro de 2006, intitulada “Qualification code for manufacturer of Structural Glued Lamelated Timber” apresenta no seu conteúdo a abrangência da norma, referências normativas, definições.

Certificação, pessoal e equipamentos, controle de qualidade, fabricação, manual necessária e ensaios de qualificação. No item 06, a norma descreve a organização do controle de qualidade com ênfase em medidas, tipos de equipamentos e respectivas precisões requeridas para o controle de qualidade, registros necessários e experiência do pessoal envolvido no sistema.

Alguns métodos de ensaios propostos para a qualificação são baseados na norma americana. Os ensaios de qualificação são os mesmos da ANSI/A – 190, ou seja: testes de cisalhamento, delaminação cíclica, adesivos e juntas de topo (permite ensaios de flexão ou de tração). Essa norma também apresenta no seu anexo D (informativo) modelos de certificação de qualificação, de conformidade, e de marcas de registro.

A norma chilena estabelece os procedimentos e métodos de concepção estrutural para se determinar as condições mínimas de elementos e articulações necessárias na madeira de construção, desenhado, colado laminado e postes de madeira. A norma não se destina a excluir a utilização de materiais, equipamentos, montagens, estruturas ou desenhos que diferem de seus critérios. Portanto, sempre que possível demonstra-se por meio de uma análise com base em teorias comprovadas, testes em escala real ou protótipos analogia com estudos utilizando modelos, montagem, estrutura ou projeto desenvolvidos com sucesso para aplicação pretendida. Esta norma é aplicada a estrutura atual de edifícios de madeira, elementos estruturais de madeira em edifícios mistos, andaimes, passarelas de pedestres, postes de madeira, etc. (NCh 2148.cR 2010).

Os documentos normativos contêm disposições que, através de referências no texto da norma, constituem as disposições da norma. As disposições da norma NoCh 2148 aplica-se ao design dos elementos estruturais laminados colados cujo processo de fabricação garantia o cumprimento dessa norma. A menos que esteja especificado na norma procedimentos de outra forma projeto estrutural estabelecido para madeira serrada, deve ser aplicada também aos elementos estruturais de madeira laminada.

Os requisitos estabelecidos para cargas permitidas e os elementos de ligação madeira serrada atuando, também deve ser aplicada quando eles atuam na madeira laminada colada. O dimensionamento de elementos estruturais da madeira laminada colada deve ser considerado no efeito produzido por tensões de fabrico especiais, transporte, montagem, etc. Para a fabricação de elementos estruturais laminados de madeira, é possível combinar lamelas de diferentes graus de qualidade (NCh 2148.cR 2010).

3.6 – Ensaios

Para um bom desempenho de vigas MLC é necessário realizar classificação visual e a classificação mecânica das lâminas. A classificação permite que lâminas de melhor qualidade sejam posicionadas nas regiões de maiores tensões, e as de qualidade inferior nas regiões sujeitas a menores tensões (TEREZO, 2010). Em geral, a ruptura de uma viga em MLC acontece em decorrência de algum tipo de defeito, como por exemplo, nós, fibras inclinadas em relação ao eixo dentre outros. As normas para esta classificação devem ser seguidas ao serem selecionadas lâminas para vigas em MLC.

No caso da classificação mecânica pode ser realizada por diversos equipamentos. Esta classificação consiste em determinar o módulo de elasticidade longitudinal (E) das lâminas através de um método não destrutivo. Dentre os métodos mais utilizados pode-se destacar a flexão estática.

Entre as propriedades mecânicas que podem ser úteis como parâmetro de cálculo para estruturas em madeira são: resistência às tensões e deformações. Estas são obtidas através de ensaios de compressão, flexão, tração, cisalhamento. Segundo a NBR-7190/97, a resistência deve ser estimada com base na máxima tensão que pode ser aplicada em corpos de prova isentos de defeitos, até a sua ruptura ou quando a deformação específica seja excessiva. Já a resistência à deformação do material é expressa pelo módulo de elasticidade, determinado na fase de comportamento elástico-linear. O módulo de elasticidade é medido pelos ensaios de compressão paralela às fibras e compressão normal às fibras. A densidade é importante para um projeto de estrutura em madeira, não só por permitir a quantificação do peso total da estrutura, mas também por sua correlação com outros parâmetros de resistência mecânica. Winady (1994) descreve que além da densidade, outros parâmetros físicos da madeira, tais como, teor de umidade, estabilidade dimensional, propriedades térmicas e de resistência ao fogo são importantes também, pois podem influenciar significativamente o desempenho e a resistência de elementos estruturais de madeira (TEREZO, 2010).

4 – Materiais e Métodos

4.1 – Madeira

Foi utilizado um lote de madeira de Parica, composto por 86 lamelas de aproximadamente 230 x 9 x 3 cm e 103 lamelas de aproximadamente 230 x 15 x 3 cm, totalizando 189 peças. A Figura 3 apresenta uma visão parcial do lote utilizado.



Figura 3 – Parte do lote de madeira de Paricá utilizado neste trabalho.

Estas amostras foram doadas pelo grupo de pesquisas do Prof. Dr. Alcebíades Negrão Macêdo e pela Fundação Amazônia Paraense – FAPESPA, no âmbito do projeto “**Silvicultura de Florestas Nativas e Plantadas para Promoção do Desenvolvimento Sustentável do Estado do Pará – Rede de Biomassa Florestal**” e pelas empresas do **Grupo Concrem** por intermédio do **Centro de Pesquisa do Paricá - CPP**.

4.2 – Adesivos

4.2.1 – Cascophen

Neste trabalho foi utilizado um adesivo Resorcinol-Formol em solução etanol/água Cascophen RS-216 –M (CASCO[®], Hexion) disponível no laboratório. A Figura 4 apresenta o aspecto físico do referido adesivo, composto por uma fase líquida vermelha e uma fase sólida, em pó, marrom.



Figura 4 - Aspecto físico do adesivo Cascophen RS-216 –M, utilizado neste trabalho.

4.2.2 – Melamina

Também foi utilizado um adesivo Melamina-Ureia-Formaldeído (MUF 1242 / 2542), cedido gentilmente pela Empresa AkzoNobel. A Figura 5 apresenta o aspecto físico desse adesivo, composto por duas fases líquidas amareladas.



Figura 5 - Aspecto físico do adesivo MUF 1242 / 2542, utilizado neste trabalho.

4.2.3 – Purbond

Outro adesivo utilizado foi o HB S309 (Purbond®) à base de poliuretano, cedido gentilmente pela ITA Construtora Ltda.. A Figura 6 apresenta o aspecto físico desse adesivo, composto por uma fase líquida amarelada monocomponente.



Figura 6 - Aspecto físico do adesivo HB S309, utilizado neste trabalho.

4.3 – Tratamento Contra Demanda Biológica

Para o tratamento contra a demanda biológica foram utilizados Arseniato de Cobre Cromatado e Boro de Cobre Cromatado.

4.4 – Equipamentos

Os principais equipamentos utilizados foram:

Para os ensaios de flexão estática foi utilizado um pórtico de reação, com cilindro hidráulico compacto, anel dinamométrico e relógios comparadores.

Para o ensaio de cisalhamento e compressão foi utilizado a máquina universal de ensaios.

O ciclo de delaminação foi feito em uma auto clave montada pelo próprio laboratório.

O ensaio de fluência foi realizado em um dispositivo para ensaio de deformação lenta.

4.5 – Classificação Visual das Lamelas

Neste trabalho a classificação visual das peças foi feita buscando rachaduras de topo, nós e “brocas”.

A madeira de Paricá dificilmente apresenta defeitos, quando submetida à classificação visual, porém, quando estes foram identificados, foram excluídas:

- a) peças que apresentavam *rachaduras de topo* com comprimento maior que 15 cm, nas extremidades,
- b) todas as peças contendo nós
- c) todas as peças com orifícios de broca na madeira

Exemplos de peças com tais defeitos e que foram excluídas são apresentadas na Figura 7

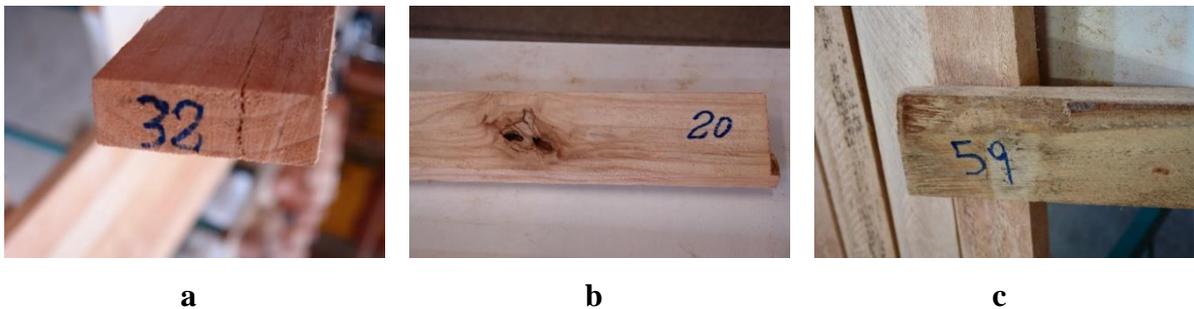


Figura 7 - Ilustração dos defeitos encontrados na classificação visual das peças: a) rachadura de topo, b) nós e c) “brocas”.

Nesta figura podem ser observados exemplos de peças com rachadura de topo (peça 32, Fig. 7.a), com nó (peça 20, Fig. 7.b) e orifício de brocas (peça 59, Fig. 7.c).

A presença de “Brocas” foi o problema com maior incidência encontrado no lote. Isso acontece porque a madeira é composta de hemicelulose, fazendo com que seja um alimento de organismos extremamente ativos como insetos e fungos.

4.6 - Determinação da Densidade Aparente da Madeira de Paricá.

A medida de densidade aparente também foi feita segundo a Norma NBR 7190 (NBR 7190/97). Para tanto, todas as peças foram medidas em três pontos determinado-se um valor de altura média (hm) e um valor de base média (bm) e pesadas. A densidade aparente foi então determinada pela Equação 1.

$$\rho = \frac{m}{l * hm * bm} \quad (1)$$

na qual ρ é a densidade aparente, em $kg\ m^{-3}$; m é a massa da amostra, em kg e l , hm e bm são respectivamente o comprimento, a média das alturas e a média das bases, respectivamente, todos expressos em m .

4.7 – Determinação das Propriedades Mecânicas da Madeira de Paricá: Resistência ao Cisalhamento e à Compressão Paralela.

Para estimar a resistência ao cisalhamento e à compressão paralela da madeira de Paricá, foram preparados 12 corpos de prova para cada propriedade a ser investigada, com dimensões em conformidade com a norma ABNT NBR 7190: 1997.

A Figura 8 apresenta fotografias dos corpos de prova sendo submetidos aos ensaios de resistência ao cisalhamento (Fig. 8.a) e à compressão paralela (Fig. 8.b)



Figura 8 - Fotografias dos corpos de prova sendo submetidos aos ensaios de resistência ao a) cisalhamento e b) à compressão paralela.

4.8 - Ensaio de Flexão Estática nas Lamelas de Paricá

Depois de todas as peças serem medidas e pesadas para determinação da densidade aparente, as mesmas foram submetidas a ensaio de flexão estática, que permitiu determinar o módulo de elasticidade das mesmas.

O ensaio foi realizado em um equipamento específico para esse fim denominado pórtico de reação, utilizando um anel dinamométrico para definição de força e um relógio comparador para definição do deslocamento. O ensaio foi realizado com dois pontos de apoio e um para aplicação de carga, até a flexa máxima de $L/300$, sendo l o vão livre (220 cm). Este valor de flexa garante que a medida seja realizada dentro do limite elástico do material.

A Figura 9 apresenta fotografias do pórtico de reação montado com a amostra sob ensaio e um detalhe do ponto de aplicação da força e onde foi feita a medida de flexão.



Figura 9 - Fotografias (a) do pórtico de reação montado com a amostra sob ensaio e (b) um detalhe do ponto de aplicação da força e onde foi feita a medida de flexão.

4.9 – Montagem das vigas de MLC (prensagem)

Os resultados de MOE, obtidos conforme a sessão anterior, permitiram propor um modelo de confecção das vigas, distribuindo-se os valores de forma a obter um conjunto de amostras compostas por três lamelas com valores de MOE distribuídos de maneira mais uniforme possível. O Apêndice 2 apresenta tabelas que descrevem a composição das amostras, organizadas pelos valores de MOE, e reunidas de acordo com o adesivo utilizado na colagem.

4.9.1 - Montagem das Vigas

As vigas foram montadas, como dito acima buscando-se balancear a composição em termos dos MOE de cada componente. Cada lamela foi inicialmente aplainada, limpa, recebeu o adesivo desejado, com aplicação por pincelamento e após montagem as mesmas foram prensadas. A pressão aplicada e o tempo de prensagem foram determinados para cada adesivo, conforme as instruções dos fabricantes. A Figura 10, ilustra o processo de colagem, que foi semelhante para os três adesivos.

Segundo Calil-Neto (2011) o aplainamento deve ser realizado em torno de 24 h antes da colagem para abertura dos poros da madeira, visando maior eficiência na colagem.

**a**

Cascophen

b1

Melamina

b2

Purbond

b3**c**

Figura 10 - Representação do processo de preparo das vigas. Inicialmente aplainamento (a), aplicação dos adesivos Cascophen (b1), Melamina (b2) e Purbond® (b3); prensagem (c).

As vigas foram preparadas resultando em nove vigas “estreitas” e nove vigas “largas”, para cada adesivo. Os termos vigas “estreitas” e vigas “largas” se referem à largura da base de 9 ou 15 cm, conforme especificado na Figura 11. Todas as vigas apresentam altura de 9 cm e comprimento de 230 cm.

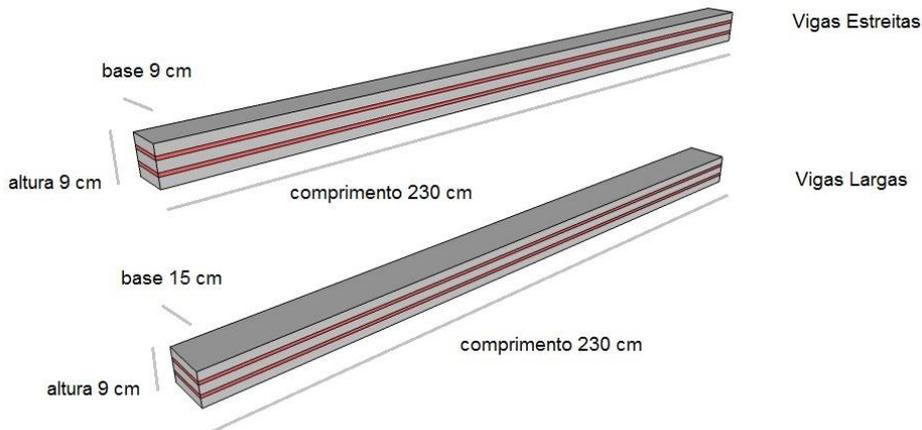
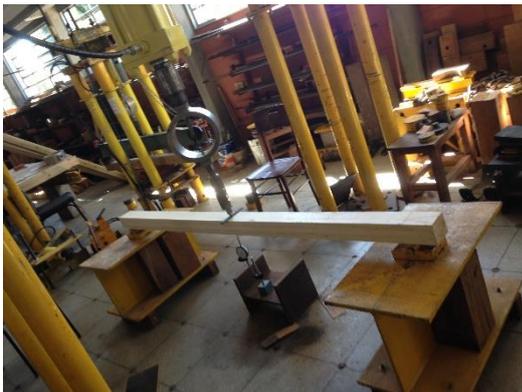


Figura 11- Dimensionamento final das vigas, gerando vigas “estreitas” e vigas “largas”, conforme a largura da base.

4.9.2 Classificação Mecânica das Vigas de MLC Sem Tratamento

Após colagem e cura dos adesivos as vigas foram submetidas a ensaios de flexão estática, da mesma forma descrita acima para as lamelas, como representado na Figura 12.



a



b

Figura 12 - Fotografias (a) do pórtico de reação montado com a amostra sob ensaio e (b) um detalhe do ponto de aplicação da força e onde foi feita a medida de flexão.

4.10 – Tratamento Contra Demanda Biológica e Classificação Mecânica Pós-Tratamento

Foram utilizados dois tipos de tratamentos químicos, frequentemente utilizados para preservação de madeiras:

- o CCA, do inglês *Chromated Copper Arsenate*, ou Arsenato de Cobre Cromatado, são preservativos hidrossolúveis que quando aplicados à madeira se tornam virtualmente insolúveis. Pode existir uma variação na proporção dos componentes e

- o CCB, do inglês *Chromated Copper Borate*, ou borato de cobre cromatado, que é uma alternativa livre de arsênio, o qual é substituído pelo boro, que pode ser óxido ou salino.

As empresas UsiPrema (Ribeirão Bonito/SP) e Prema (Rio Claro/SP) realizaram os tratamentos CCA e CCB, respectivamente. A Figura 13 apresenta o aspecto das amostras após tratamento com CCA (Fig. 13.a), que apresentam coloração esverdeada e CCB (130.b), que resultam em coloração amarelada.

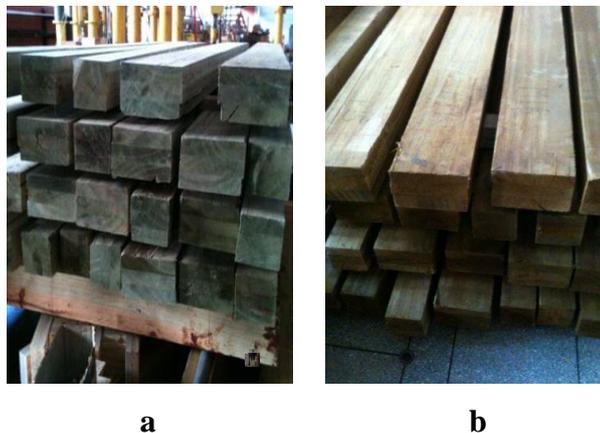


Figura 13 - Aspecto das amostras após tratamento CCA (a) e CCB (b).

No Esquema 1 apresenta-se uma descrição das amostras submetidas a tratamento, classificadas pelo adesivo utilizado e pelas larguras das vigas. No total foram tratadas 54 vigas, sendo 9 vigas largas e 9 vigas estreitas coladas com cada adesivo e, dessas, 4 submetidas ao tratamento CCA, 4 ao CCB e 1 utilizada sem tratamento para comparação.

As vigas tratadas quimicamente foram novamente submetidas a ensaios de flexão estática, como descrito acima.

Esquema 1 Descrição das 24 vigas tratadas com CCA; 24 vigas com CCB e 6 vigas sem tratamento e os respectivos adesivos utilizados

18 Vigas coladas com Purbond	9 vigas Largas	4 tratadas com CCA 4 tratadas com CCB 1 sem tratamento
	9 vigas Estreitas	4 tratadas com CCA 4 tratadas com CCB 1 sem tratamento
18 Vigas coladas com Cascophen	9 vigas Largas	4 tratadas com CCA 4 tratadas com CCB 1 sem tratamento
	9 vigas Estreitas	4 tratadas com CCA 4 tratadas com CCB 1 sem tratamento
18 Vigas coladas com Melamina	9 vigas Largas	4 tratadas com CCA 4 tratadas com CCB 1 sem tratamento
	9 vigas Estreitas	4 tratadas com CCA 4 tratadas com CCB 1 sem tratamento

4.10. 1 – Módulo de Ruptura de Todas as Vigas

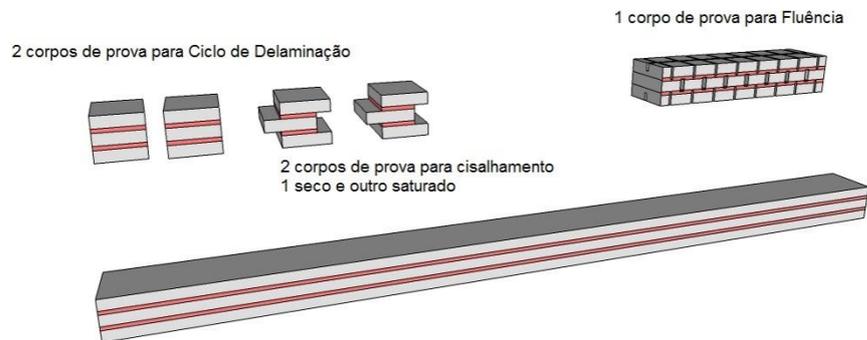
Todas as vigas depois de tratadas foram submetidas a ensaio de flexão estática sendo rompidas para determinação do módulo de ruptura. Todas as vigas sofreram ruptura por tração, confirmando mais uma vez a boa aderência do adesivo com a madeira, conforme apresentado pela figura 14.



Figura 14 – Vigas depois de sofrerem a ruptura para determinação do MOR.

4.11 – Confecção dos Corpos de Prova

Após concluir os procedimentos de colagem, prensagem e tratamentos químicos as vigas foram cortadas para preparação dos corpos de prova para os ensaios de cisalhamento, ciclo de delaminação e fluência. A Figura 15 representa um esquema de como os corpos de prova foram cortados a partir das vigas.



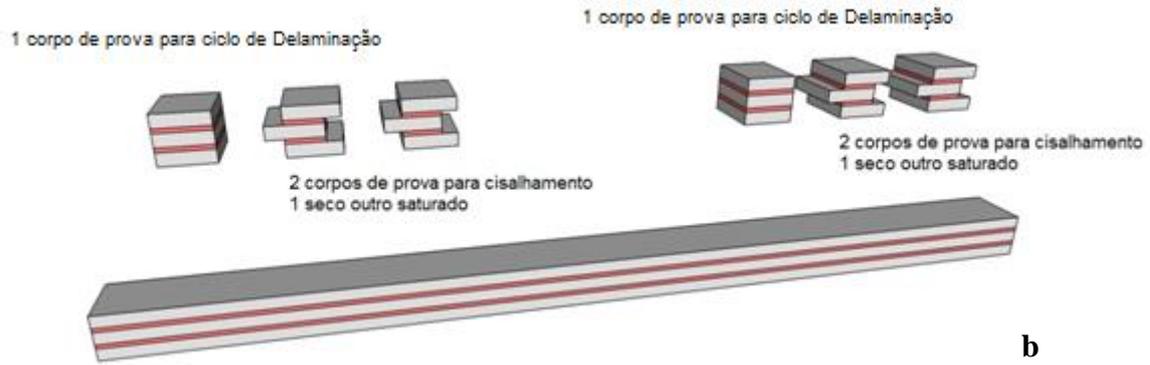


Figura 15 - Representação de como 54 vigas foram cortadas para retirada dos corpos de prova a serem submetidos a todos os ensaios. (a) 6 vigas foram cortadas nessa disposição, em função das dimensões dos corpos de prova para ensaios de fluência. (b) 48 vigas foram cortadas, como representado, para ensaios de cisalhamento e ciclo de delaminação.

4.12 – Ensaio de Cisalhamento, Ciclo de Delaminação e Fluência.

Todos os ensaios de Cisalhamento, Ciclo de Delaminação e Fluência, desde a montagem dos corpos de prova à análise dos resultados, foi baseada na norma CSA 0112.9:2004, do capítulo Evaluation of adhesives for structural Wood products (exterior exposure). As referências utilizadas foram as normas para corpos de prova expostos à áreas externas, pois se estiverem de acordo com os valores de referência superarão os valores de referência para exposição de umidade limitada. Uma descrição mais detalhada dos procedimentos foi apresentada por Calil-Neto (2011), A seguir apresenta-se uma breve descrição dos detalhes da preparação dos corpos de prova e dos ensaios.

As vigas foram cortadas de acordo com os esquemas descritos na Figura 15. De cada viga foram cortados 04 corpos de prova para cisalhamento, sem dois para o ensaio a seco e dois para o ensaio saturado. Entretanto, de seis das vigas foram retirados apenas dois corpos de prova para cisalhamento, pois seria necessário preparar seis corpos de prova para os ensaios de fluência.

4.12.1 – Ensaio de Cisalhamento

O corpo de prova deve ser cortado de modo que a direção das fibras fique paralela à direção da carga durante o ensaio. As superfícies a receberem carga devem ser lisas e paralelas umas às outras. Na confecção do entalhe em uma das extremidades do corpo de cola, e na outra extremidade do corte da serra também deve se estender através da espessura da outra camada para a linha de cola. Cuidados devem ser tomados para que os cortes da serra não se estendam para além da linha de cola. A Figura 16 mostra o corpo de prova usado nos ensaios de cisalhamento.

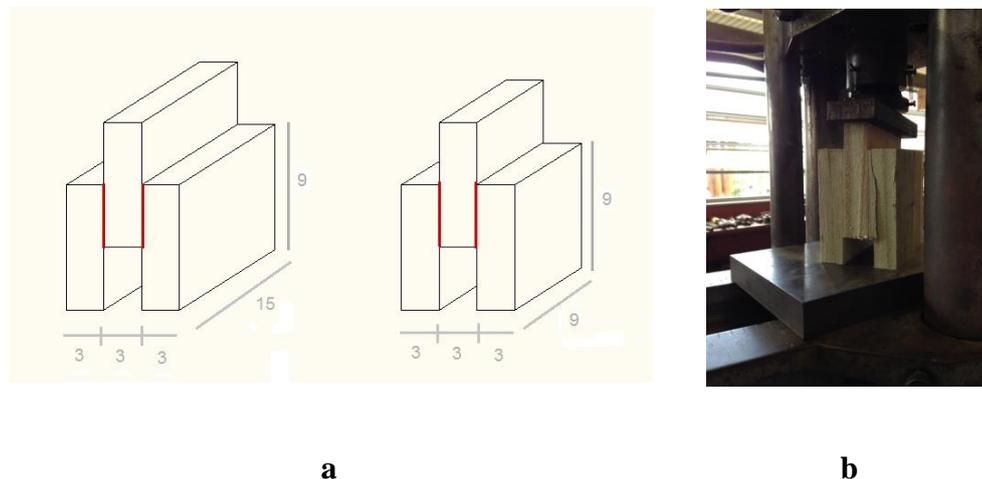


Figura 16 - (a) modelo dos corpos de prova para ensaios de cisalhamento, para as vigas largas (15 cm) e estreitas (9 cm). (b) detalhe do corpo de prova seco, sob ensaio de cisalhamento 100% na madeira.

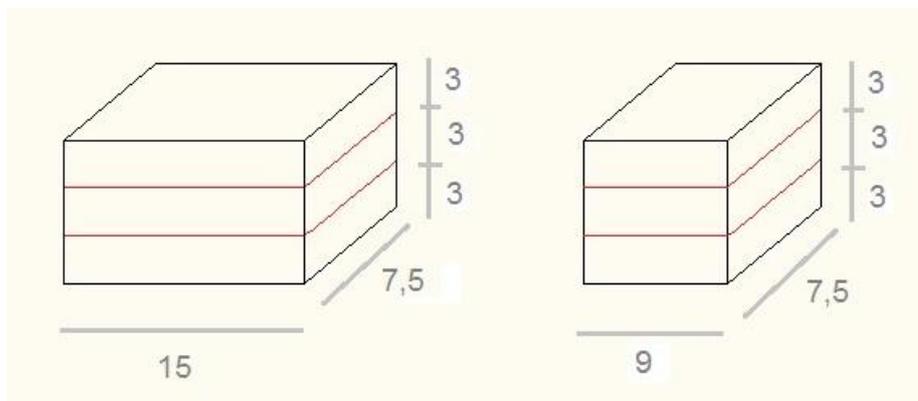
Para a saturação os corpos de prova foram imersos em água, a temperatura ambiente e mantidos assim, por 48 h, conforme a norma CSA 0112.9:2004.

O ensaio foi realizado em uma Máquina Universal de Ensaio AMSLER, no modo de compressão e as amostras foram submetidas a pressão.

4.12.2 - Ciclo de Delaminação

O corpo de prova deve ser condicionado a 20 ± 2 °C e $65 \pm 5\%$ de umidade relativa por 2 dias. Após condicionamento, os corpos de prova foram cortados com largura de 7,5 cm (corte em ambos os lados) e comprimento reduzido a 7,5 cm. Os corpos de prova foram colocados em autoclave separados por espaçadores e com as superfícies de topo expostas à umidade e mantidos submersos com auxílio de pesos. A Figura 17 a, apresenta um modelo dos corpos de prova para ensaios de delaminação, para as vigas largas (15 cm) e estreitas (9 cm).

As amostras são imersas em água a 22 ± 5 °C e submetidas a pressão de 75 ± 10 kPa por 2 h. Após esse período aplica-se pressão de 540 ± 20 kPa por outras 2 h. Em seguida as amostras são secas a 28 ± 2 °C por 88 h, com circulação de ar, até atingirem massa de 5-6% em relação ao peso original. O ciclo de 4 dias (96h) deve ser repetido duas vezes. Ao final da secagem, o comprimento total da delaminação, representado por linhas de cola aberta, deve ser medido com precisão de 0,1 cm. Delaminações inferiores a 0,25 cm de comprimentos devem ser desconsideradas. As Figuras 16 b e 16 c também ilustram o equipamento utilizado nos ensaios de delaminação.



a

**b****c**

Figura 17 - (a) Modelo dos corpos de prova para ensaios de delaminação, para as vigas largas (15 cm) e estreitas (9 cm). (b) autoclave utilizada nos ensaios e (c) detalhe do interior do equipamento, contendo os corpos de prova.

A delaminação total, dentro de qualquer linha cola de cada corpo de prova não deve exceder 1% do comprimento total das linhas de cola, no topo, de todas as amostras, para estarem em conformidade.

4.12.3 – Fluência

Os corpos de prova devem ser preparados com duas lamelas externas com comprimento ao longo da fibra e oito sessões de madeira no centro com comprimento ao longo da fibra. A inclinação das fibras deve ser inferior a 1 em 15 e não devem ser lixadas e estar livres de resíduos soltos, não apresentar nós maiores que 3 mm de diâmetro, defeitos de estruturais, de usinagem ou secagem.

Cada corpo de prova deve ser preparado alternadamente e deve conter sete espaçadores, fixados firmemente ao lado das oito sessões do centro, com fibras paralelas ao comprimento do conjunto. A aplicação do adesivo e as condições de prensagem devem obedecer às recomendações do fabricante. Após a cura do adesivo, os espaçadores devem ser cuidadosamente retirados e o excesso de adesivo removido.

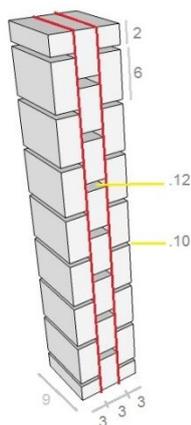
Os corpos de prova devem ser condicionados a 20 ± 2 °C em umidade relativa de $65 \pm 5\%$, pelo menos 2 dias antes da secagem. Então as amostras devem ser reduzidas e os lados nivelados e aparados em relação à parte interior.

Linhas perpendiculares ao eixo longitudinal do conjunto devem ser marcadas de uma borda até a outra, dentro de $\pm 0,5$ mm da metade do comprimento das sessões centrais. Deve-se, então, entalhar sulcos transversais de 3 mm centrado a $\pm 0,5$ mm nessas linhas, até a linha da cola.

Traçar uma linha perpendicular às linhas de cola expostas pelo meio das sessões externa e interna sobrepostas, usando um estilete.

Cada corpo de prova deve ser inserido no gabarito de fluência do tipo de compressão como descrito na Norma ASTM D 3535. A placa de apoio deve ser inserida no topo do corpo de prova e a chapa espaçadora. A mola deve ser inserida e a outra placa espaçadora posicionada no topo da mola. Pressionar suavemente e apertar as porcas dos cantos. O ensaio pode ser conduzido em qualquer máquina de ensaio de compressão, com nível adequado de tensão. Medir a fluência em todas as linhas de cola exposta, com precisão de 0,1 mm e registrar a média dos valores obtidos.

A Figura 18 apresenta um modelo dos corpos de prova utilizados, o corpo de prova real e detalhes do equipamento usado no ensaio. Neste trabalho, os corpos de prova tiveram suas dimensões adaptadas ao equipamento disponível.

**a****b**

**c****d**

Figura 18 - (a) modelo dos corpos de prova para ensaios de fluência. (b) fotografia de um dos corpos de prova pronto para ensaio. (c) equipamento de ensaio mecânico usado nos ensaios e (d) detalhe do gabarito, contendo o corpo de prova, sob ensaio.

5 – Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

As amostras avaliadas por MEV foram preparadas a partir das vigas de MLC, configurando corpos de prova de 2 mm de espessura por 9 de altura e 9 e 15 de base dependendo das vigas largas ou estreitas. De cada viga foram cortadas duas lâminas.

A partir destas lâminas finas retiradas das vigas, foram cortadas dois corpos de prova utilizando um vazador com diâmetro de 10 mm formando os corpos de prova finais para medidas, conforme apresentam as imagens na Figura 19.

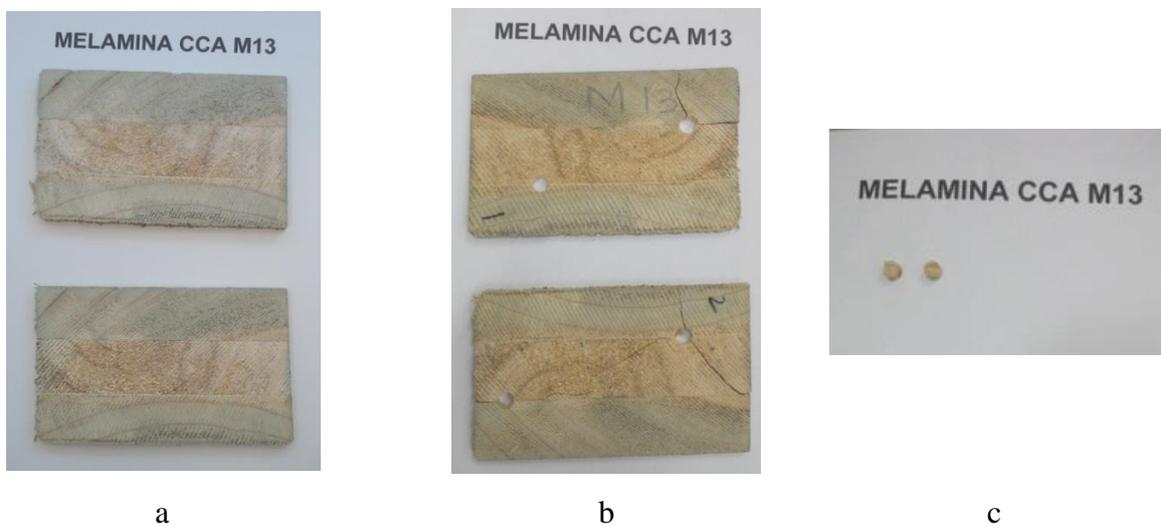


Figura 19 - (a) Lâmina cortada da viga (b) lamina cortada após a remoção da peça circulas (c) corpos de prova circulares para análise no MEV

Foram extraídas de cada lâmina duas amostras de cada vigas apresentadas pela Tabela 4, sendo assim cada viga teve 4 corpos de prova, em formato circular, analisados pelo MEV.

Tabela 4 - Descrição das amostras usadas para MEV

<i>Amostra</i>	<i>Descrição</i>
1	Purbond CCA P12 Amostra 1A
2	Purbond CCA P12 Amostra 1B
3	Purbond CCA P12 Amostra 2 A
4	Purbond CCA P12 Amostra 2B
5	Melamina CCB M16 Amostra 1A
6	Melamina CCB M16 Amostra 1B
7	Melamina CCB M16 Amostra 2 A
8	Melamina CCB M16 Amostra 2B
9	Cascophen CCA C4 Amostra 1A
10	Cascophen CCA C4 Amostra 1B
11	Cascophen CCA C4 Amostra 2A
12	Cascophen CCA C4 Amostra 2B
13	Purbond CCB P16 Amostra 1A
14	Purbond CCB P16 Amostra 1B
15	Purbond CCB P16 Amostra 2A
16	Purbond CCB P16 Amostra 2B
17	Cascophen CCB C7 Amostra 1A
18	Cascophen CCB C7 Amostra 1B
19	Cascophen CCB C7 Amostra 2A
20	Cascophen CCB C7 Amostra 2B
21	Melamina CCA M13 Amostra 1A
22	Melamina CCA M13 Amostra 1B
23	Melamina CCA M13 Amostra 2A
24	Melamina CCA M13 Amostra 2B

As amostras foram colocadas em estufa a vácuo por um período de 72h à 40° C para que ficassem bem secas. Após a secagem elas recobertas com 6nm de ouro em um metalizador Coating System BAL-TEC MED 020 (BAL-TEC, Liechtenstein) e mantidas em dessecador até o momento de análise. Por último levadas ao microscópio de varredura para a análise, conforme ilustra a Figura 20.

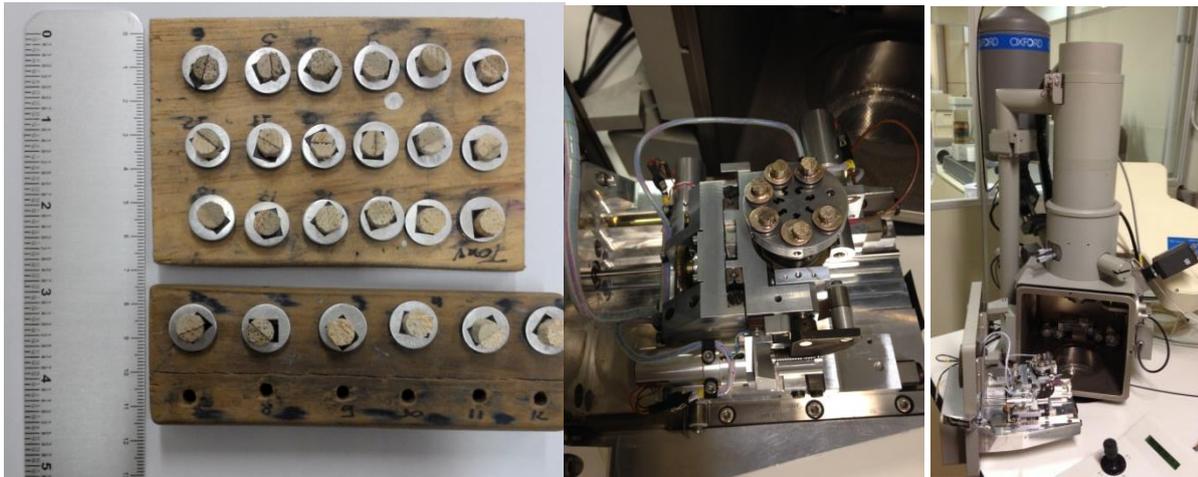
**a****b****c**

Figura 20 - (a) Amostras colocadas nas peças metálicas para encaixe no microscópio. (b) imagens no microscópio, já recobertas em ouro. (c) imagem do equipamento de microscopia MEV

As micrografias de MEV foram obtidas na Central de Análises Químicas Instrumentais do Instituto de Química de São Carlos (CAQI/IQSC/USP) em um equipamento ZEISS LEO 440 (Cambridge, England) com detector OXFORD (modelo 7060), operando com feixe de elétrons de 15kV. As amostras foram recobertas com 6nm de ouro em um metalizador Coating System BAL-TEC MED 020 (BAL-TEC, Liechtenstein) e mantidas em dessecador até o momento de análise. Condições de metalização: pressão na câmara = $2,00 \times 10^{-2}$ mbar; corrente = 60mA; taxa de deposição 0,60nm/s).

6 – Resultados e Discussão

6.1 - Determinação da Densidade Aparente e Propriedades Mecânicas da Madeira de Paricá.

A densidade aparente média da madeira de Paricá determinado usando todas as lamelas, após serem submetidas à seleção pela classificação visual foi igual a 370 kg/m³. O Apêndice 1, apresenta a Tabela completa com os dados utilizados nesta determinação.

A Tabela 5 apresenta os resultados de resistência ao cisalhamento e à compressão paralela da madeira de Paricá.

Tabela 5. Resistência ao cisalhamento e à compressão paralela da madeira de Paricá, segundo a ABNT NBR 7190: 1997

Propriedades (MPa)	f_{c0}	f_{v0}	E_{c0}
N	12	12	12
X_m	25	7	8904
DP	3,15	1,45	1391
CV (%)	12	21	16
X_k	20	5	-

f_c resistência à compressão paralela às fibras

f_v resistência ao cisalhamento paralelo às fibras

E_c módulo de elasticidade em esforços de compressão paralelos às fibras

A resistência característica à compressão paralela às fibras (f_{c0}) foi igual a 20 MPa, fato que classifica a madeira de Paricá como madeira da Classe D20 das dicotiledôneas, assim como outras madeiras nativas, tais como: Cedro-doce (*Cedrella sp*), Cedrorana (*Cedrelinga catenaeformis*) e a Quarubarana (*Erisma uncinatum*) (DIAS e LAHR, 2004).

6.2 – Módulo de Elasticidade das Lamelas

Os módulos de elasticidade (MOE) de todas as lamelas utilizadas para confecção das vigas foram determinados por meio do ensaio de flexão estática. As Tabelas de A2.1 a A2.3, apresentadas no Apêndice 2, reúnem os valores de MOE de cada lamela utilizada na confecção das vigas coladas, para cada adesivo e permitem observar que buscou-se um balanceamento nos valores de MOE das lamelas constituintes de cada uma delas, visando uniformidade de elasticidade entre as vigas, em função de suas lamelas componentes.

Os códigos de identificação de cada viga, também podem ser vistos nas tabelas do Apêndice 2.

6.3 - Módulo de Elasticidade (MOE) e Módulo de Ruptura (MOR) das Vigas sem Tratamento

Os valores de MOE determinados para as vigas sem tratamento coladas com os diferentes adesivos podem ser vistos na Tabela 6. Os valores mais elevados para este parâmetro foram observados para as vigas coladas com Cascophen que foram da ordem de 9150 ± 672 MPa, seguidos pelas vigas coladas com Purbond e Melamina, cujos valores de MOE foram respectivamente 8119 ± 725 e 7171 ± 519 , respectivamente.

Tabela 6 - Módulos de elasticidade determinados para as vigas antes do tratamento químico, média, desvio padrão e coeficiente de variância para cada adesivo

Vigas	MOE (MPa)	Vigas	MOE (MPa)	Vigas	MOE (MPa)
C1	9149	M1	6725	P1	8294
C2	9297	M2	7373	P2	8402
C3	9163	M3	7041	P3	8206
C4	8229	M4	6925	P4	7942
C5	9681	M5	7119	P5	7849
C6	9431	M6	7160	P6	8312
C7	9396	M7	6589	P7	7758
C8	8512	M8	7581	P8	9252
C9	9456	M9	7355	P9	7208
C10	9806	M10	6713	P10	7273
C11	8402	M11	6754	P11	9090
C12	7631	M12	7116	P12	8122
C13	9130	M13	7866	P13	9344
C14	10207	M14	7962	P14	7590
C15	8932	M15	6668	P15	8934
C16	9112	M16	6581	P16	6611
C17	10309	M17	7100	P17	8095
C18	8867	M18	8444	P18	7861
Média	9150	Média	7171	Média	8119
CV(%)	7	CV(%)	7	CV(%)	9
Desvio Padrão	672	Desvio Padrão	519	Desvio Padrão	725

Quando se aplica o teste t-Student para comparação das médias com diferentes desvios padrão, nota-se que em todos os casos os valores de t_{calc} é maior que o valor tabelado (NIST, 2012), para os respectivos graus de liberdade, com 95% confiança. Assim pode-se concluir que em todos os casos os valores são estatisticamente diferentes entre si, como mostra a Tabela 7.

Tabela 7. Comparação estatística entre os valores de MOE para as vigas coladas com os diversos adesivos, sem tratamento químico

Adesivos comparados	Graus de liberdade	t_{calc}	t_{tab}
Cascophen/Melamina	34	9,888	2,032
Cascophen/Purbond	32	4,511	2,037
Purbond/Melamina	36	4,425	2,028

Pode-se concluir que os módulos de elasticidade seguem a seguinte ordem:

MOE: Carcophen > Purbond > Melamina

Foi feita uma avaliação do efeito dos adesivos nos módulos de ruptura de algumas vigas sem tratamento, sendo uma estreita e uma larga de cada um dos três adesivos. Os resultados apresentados na Tabela 8, mostram que não há uma tendência clara nos valores de MOR, para as amostras ensaiadas e a amostragem é pequena para uma avaliação estatística dos mesmos. Apesar de que pode-se observar que os valores médios sugerem um valor ligeiramente superior para as vigas coladas com cascophen, seguido do pubond e por último a Melamina, em concordância com os resultados de MOE discutidos acima.

Tabela 8 - Módulo de ruptura de vigas coladas com os diferentes adesivos, sem tratamento químico.

Vigas	MOR (MPa)	Média
C9	59,5	
C18	49,0	54,2
M9	47,5	
M18	38,6	43,0
P9	34,6	
P18	57,5	46,1

6.4 - Módulo de Elasticidade (MOE) e Módulo de Ruptura (MOR) das Vigas Tratadas

Após serem submetidas aos dois tratamentos químicos, CCA e CCB, tanto as vigas largas como as estreitas, coladas com os diferentes adesivos tiveram seus módulos de elasticidade e ruptura determinados, para avaliar o efeito do tratamento/adesivo nesses parâmetros.

As Tabelas 9 a 11 apresentam os resultados obtidos para os adesivos Cascophen, Melamina e Purbond, respectivamente.

Tabela 9 - Resultados de MOE e MOR para as vigas coladas com Cascophen.

Vigas	CCA		Vigas	CCB	
	MOE (MPa)	MOR (MPa)		MOE (MPa)	MOR (MPa)
C1	8467	35,7	C5	10664	45,7
C2	8743	57,7	C6	9156	48,3
C3	9081	54,6	C7	9431	47,8
C4	7915	53,1	C8	8530	43,2
C10	10592	61,4	C14	10955	49,4
C11	8527	44,2	C15	9851	40,9
C12	7621	44,8	C16	9825	40,2
C13	9164	55,5	C17	10161	51,0
Média	8764	51	Média	9822	46
CV (%)	10%	17%	CV (%)	8%	9%
Desvio Padrão	908	9	Desvio Padrão	791	4

Analisando-se os resultados apresentados na Tabela 9, em relação às larguras das vigas, nota-se que não há diferença significativa entre os valores de MOE para as vigas largas ou estreitas tratadas por ambos os tratamentos. Porém houve dispersão significativa nos resultados de MOR em ambos os casos, representada pelo coeficiente de variação, principalmente usando-se o CCB.

Comparando-se as médias dos valores de MOE pelo teste t-Student obteve-se um valor de $t_{\text{calc}} = 2,485$ em relação a um valor tabelado de 2,120 para 95% de confiança e 16 graus de liberdade. Para os valores de MOR, encontrou-se $t_{\text{calc}} = 1,436$ frente a um valor tabelado de 2,201 para 95% de confiança e 11 graus de liberdade. Portanto pode-se afirmar que os tratamentos químicos utilizados não afetaram os módulos de MOR, mas o CCA eleva o valor de MOE, para esse conjunto de amostras.

Tabela 10 - Resultados de MOE e MOR para as vigas coladas com Melamina

Vigas	CCA		Vigas	CCB	
	MOE (MPa)	MOR (MPa)		MOE (MPa)	MOR (MPa)
M1	7439	36,4	M5	7870	46
M2	8282	51,7	M6	8491	38,7
M3	7447	41	M7	7872	40,8
M4	7112	39,8	M8	8758	37,8
M10	7348	46,8	M14	8944	51,5
M11	7554	47,4	M15	7559	33,5
M12	7572	53,3	M16	7366	24
M13	8494	54,8	M17	8354	32,6
Média	7656	46	Média	8152	38
CV (%)	6%	15%	CV (%)	7%	22%
Desvio Padrão	477	7	Desvio Padrão	570	8

Considerando os resultados apresentados na Tabela 10, nota-se que não há diferença significativa entre os valores de MOE, com relação à largura das vigas em ambos os tratamentos, porém também houve dispersão significativa nos resultados de MOR em ambos os casos, representada pelo coeficiente de variação, principalmente usando-se o CCB.

Tendo-se em conta as médias dos valores de MOE pelo teste t-Student, em relação ao tratamento químico utilizado, obteve-se um valor de $t_{\text{calc}} = 1,888$ em relação a um valor tabelado de 2,131 para 95% de confiança e 15 graus de liberdade. Para os valores de MOR, encontrou-se $t_{\text{calc}} = 2,129$ em relação a um valor tabelado de 2,120 para 95% de confiança e 16 graus de liberdade. Portanto pode-se afirmar que os tratamentos químicos utilizados não afetaram o MOE para esse conjunto de amostras. Entretanto, quanto ao MOR ele é maior que o valor

tabelado e, portanto, seu valor é elevado ao usar o CCA em relação ao CCB, quando se usa a Melamina.

Tabela 11 - Resultados de MOE e MOR para as vigas coladas com Purbond

Vigas	CCA		Vigas	CCB	
	MOE (MPa)	MOR (MPa)		MOE (MPa)	MOR (MPa)
P1	6889	39,6	P5	7839	44,6
P2	8120	53,9	P6	8184	44,1
P3	7786	40,9	P7	8314	34,6
P4	7806	32,3	P8	9672	66,8
P10	7384	42,9	P14	7302	22,2
P11	8934	51,8	P15	9525	23,4
P12	8362	56	P16	7516	22,6
P13	9950	59,4	P17	8294	28,8
Média	8154	47	Média	8331	36
CV (%)	12	20	CV (%)	10	43
Desvio Padrão	951	10	Desvio Padrão	863	15

Observando-se os resultados apresentados na Tabela 11, em relação às larguras das vigas, nota-se que não há diferença significativa entre os valores de MOE para as vigas largas ou estreitas tratadas por ambos os tratamentos. Porém houve dispersão significativa nos resultados de MOR em ambos os casos, representada pelo coeficiente de variação, principalmente usando-se o CCB. Aparentemente os valores de MOR apresentam tendência de aumento nas vigas largas (P10 a P13) no caso do CCA e nas estreitas (P1-P4), no CCB.

Comparando-se as médias dos valores de MOE pelo teste t-Student obteve-se um valor de $t_{\text{calc}} = 0,390$ em relação a um valor tabelado de 2,120 para 95% de confiança e 16 graus de liberdade. Para os valores de MOR, encontrou-se $t_{\text{calc}} = 1,726$ frente a um valor tabelado de 2,145 para 95% de confiança e 14 graus de liberdade. Portanto pode-se afirmar que os tratamentos químicos utilizados não afetaram os módulos de MOR e MOE, para esse conjunto de amostras.

Quando se comparam os resultados para os módulos de elasticidade e ruptura para os diferentes adesivos e tratamentos utilizados, pelo test t-Student, chega-se aos valores da Tabela 12, para os resultados de graus de liberdade e valores de t.

Tabela 12 - Comparação estatística entre os valores de MOE para as vigas coladas com os diversos adesivos

Tratamento	Módulo	Adesivos comparados	Graus de liberdade	t _{calc}	t _{tab}
CCA	MOE	Cascophen/Melamina	12	3,056	2,179
		Cascophen/Purbond	16	1,312	2,120
		Purbond/Melamina	11	1,324	2,201
CCA	MOR	Cascophen/Melamina	15	1,240	2,131
		Cascophen/Purbond	16	0,841	2,120
		Purbond/Melamina	14	0,232	2,145
CCB	MOE	Cascophen/Melamina	14	4,845	2,145
		Cascophen/Purbond	16	3,602	2,120
		Purbond/Melamina	14	0,490	2,145
CCB	MOR	Cascophen/Melamina	11	2,530	2,201
		Cascophen/Purbond	8	1,822	2,306
		Purbond/Melamina	12	0,333	2,179

Com relação ao tratamento CCA, observa-se que não diferença estatística entre os valores de Cascophen (8764 ± 908 MPa) e o obtido para Purbond (8154 ± 951 MPa), assim como entre Purbond e Melamina (7656 ± 477 MPa). Entretanto o Cascophen definitivamente leva a um aumento do MOE em relação à Melamina, com este tratamento químico.

Já no caso do MOR, não houve diferença estatística na comparação dos valores obtidos para Cascophen (51 ± 9 MPa), Melamina (46 ± 7 MPa) e Purbond (47 ± 10 MPa), o que pode ser entendido pela grande dispersão nos resultados, conforme mostram seus coeficientes de variação 17, 15 e 20%, respectivamente.

Observando-se os resultados da Tabela 12 para o tratamento CCB, pode-se afirmar que, em relação ao módulo de elasticidade MOE pode-se afirmar que este módulo é maior no caso do Cascophen (9822 ± 791 MPa) do que na Melamina (8152 ± 570 MPa) e no Purbond (8331 ± 863 MPa), sendo os dois últimos comparáveis entre si.

Em relação ao MOR nota-se que os valores obtidos para o adesivo Cascophen (46 ± 4 MPa) são maiores que aqueles observados para a Melamina (38 ± 8 MPa), sendo este último estatisticamente semelhante ao obtido com o Purbond (36 ± 15 MPa).

Finalmente, a Tabela 13 mostra comparação dos resultados entre os módulos MOE para amostras não submetidas aos tratamentos químicos e aquelas tratadas com CCA e CCB, para os diferentes adesivos.

Tabela 13 - Comparação estatística entre os valores de MOE para as vigas coladas com os diversos adesivos, com e sem tratamento químico.

Adesivo	Sistemas comparados*	Graus de liberdade	t_{calc}	t_{tab}
Cascophen	ST/CCA	12	1,078	2,179
	ST/CCB	13	2,091	2,160
Melamina	ST/CCA	16	2,328	2,120
	ST/CCB	14	4,161	2,145
Purbond	ST/CCA	12	0,093	2,179
	ST/CCB	13	0,606	2,160

* ST = sem tratamento

A comparação efetuada na Tabela 13 deixa claro que, no caso da Melamina, há aumento nos valores de MOE para as amostras tratadas por CCA (7656 ± 477 MPa) e CCB (8152 ± 570 MPa) em relação à amostra sem tratamento (7171 ± 519 MPa). No caso do CCA, esse aumento é muito pouco significativo.

No caso das amostras coladas com Cascophen praticamente não há diferença estatística entre os módulos para as peças sem tratamento (9150 ± 672 MPa) e aquelas tratadas com CCA (8764 ± 908 MPa) e CCB (9822 ± 791 MPa), sendo a variação numérica maior no segundo tratamento.

A mesma observação vale para as amostras coladas com Purbond sem tratamento (8119 ± 725 MPa), quando comparadas com aquelas tratadas com CCA (8154 ± 951 MPa) e com CCB (8331 ± 863 MPa). Neste caso a variação foi muito menor na comparação.

Aparentemente a Melamina interage com os componentes do tratamento deixando a madeira mais flexível.

6.5 - Ensaio de Cisalhamento

Ao aplicar a carga nos corpos de prova, algumas peças sofreram compressão e não quebraram com o cisalhamento, pois a madeira seria mais frágil que a linha de cola. Dessa forma quatro situações foram detectadas durante os ensaios, como mostra a Figura 21:

- compressão,
- cisalhamento na linha de cola e na madeira,
- cisalhamento 100 % na linha de cola e
- cisalhamento 100% na madeira.

As Tabelas 14, 15 e 16 apresentam um resumo dos resultados obtidos nos ensaios de cisalhamento, para cada adesivo utilizado, Cascophen, Melamina e Purbond, respectivamente, assim como para as duas situações investigadas, ou seja corpos de prova secos e saturados.

Na análise visual foram consideradas as quatro situações descritas acima para classificar os eventos ocorridos e os valores de valor de ruptura, f_{v0} , foram determinados a partir dos ensaios e suas médias calculadas, para análise estatística dos resultados.

Nessa análise a maior quantidade de eventos observados se referiu à compressão, conforme resume a Tabela 17, que apresenta a frequência dos eventos descritos acima.

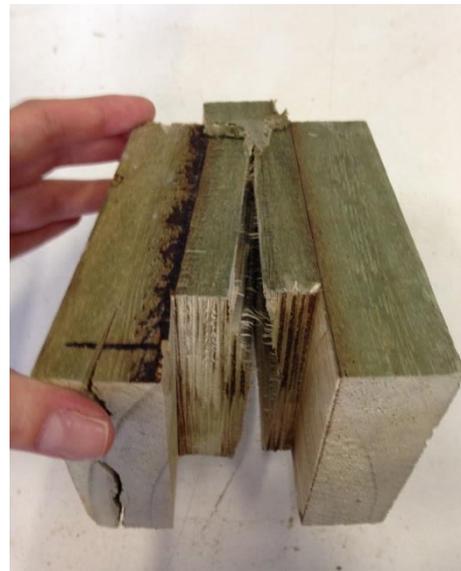
**a****b****c****d**

Figura 21 - Diferentes situações observadas nos ensaios de cisalhamento: (a) compressão, (b) cisalhamento na linha de cola e na madeira e (c) cisalhamento 100% na madeira.

Tabela 14 - Resultados de f_v e análise visual para os ensaios de cisalhamento das amostras coladas com Cascophen, usando corpos de prova secos e saturados.

CP	Seco		CP	Saturado	
	f_v (MPa)	Análise Visual		f_v (MPa)	Análise Visual
C1 - 1	-	Compressão	C1 - 3	-	Compressão
C1 - 2	-	Compressão	C1 - 4	-	Compressão
C2 - 1	-	Compressão	C2 - 3	-	Compressão
C2 - 2	5,0	100% Madeira	C2 - 4	-	Compressão
C3 - 1	-	Compressão	C3 - 3	-	Compressão
C3 - 2	-	Compressão	C3 - 4	-	Compressão
C4 - 1	4,1	100% Madeira	C4 - 3	-	Compressão
C4 - 2	3,5	90% Madeira	C4 - 4	-	Compressão
C5 - 1	-	Compressão	C5 - 3	2,6	50% Madeira
C5 - 2	2,5	50% Madeira	C5 - 4	-	Compressão
C6 - 1	-	Compressão	C6 - 3	-	Compressão
C6 - 2	-	Compressão	C6 - 4	-	Compressão
C7 - 1	-	Compressão	C7 - 3	-	Compressão
C7 - 2	-	Compressão	C7 - 4	-	Compressão
C8 - 1	-	Compressão	C8 - 3	-	Compressão
C8 - 2	3,2	95% Madeira	C8 - 4	-	Compressão
C9 - 1	-	Compressão	C9 - 3	-	Compressão
C9 - 2	-	Compressão	C9 - 4	-	Compressão
C10 - 1	3,4	80% Madeira	C10 - 3	-	Compressão
C10 - 2	-	Compressão	C10 - 4	1,7	100% Linha de Cola
C11 - 1	3,2	10% Madeira	C11 - 3	-	Compressão
C11 - 2	4,4	30% Madeira	C11 - 4	1,5	10% Madeira
C12 - 1	4,0	70% Madeira	C12 - 3	-	Compressão
C12 - 2	-	Compressão	C12 - 4	2,0	100% Linha de Cola
C13 - 1	3,5	80% Madeira	C13 - 3	2,8	50% Madeira
C13 - 2	-	Compressão	C13 - 4	-	Compressão
C14 - 1	-	Compressão	C14 - 3	-	Compressão
C14 - 2	-	Compressão	C14 - 4	2,8	100% Linha de Cola
C15 - 1	2,7	100% Linha de Cola	C15 - 3	2,8	80% Madeira
C15 - 2	4,1	100% Linha de Cola	C15 - 4	1,8	80% Madeira
C16 - 1	3,4	20% Madeira	C16 - 3	2,9	60% Madeira
C16 - 2	-	Compressão	C16 - 4	-	Compressão
C17 - 1	2,4	10% Madeira	C17 - 3	-	Compressão
C17 - 2	2,1	100% Madeira	C17 - 4	-	Compressão
C18 - 1	2,9	10% Madeira	C18 - 3	-	Compressão
C18 - 2	-	Compressão	C18 - 4	2,0	10% Madeira
Média	3,4	-	Média	2,3	-
CV (%)	23	-	CV (%)	23	-
Desvio Padrão	0,78	-	Desvio Padrão	0,53	-

Tabela 15 - Resultados de f_v e análise visual para os ensaios de cisalhamento das amostras coladas com Melamina, usando corpos de prova secos e saturados

CP	Seco		CP	Saturado	
	f_v (MPa)	Análise Visual		f_v (MPa)	Análise Visual
M1 - 1	4,7	20% Madeira	M1 - 3	2,8	100% Madeira
M1 - 2	4,2	100% Madeira	M1 - 4	-	Compressão
M2 - 1	-	Compressão	M2 - 3	-	Compressão
M2 - 2	-	Compressão	M2 - 4	-	Compressão
M3 - 1	-	Compressão	M3 - 3	-	Compressão
M3 - 2	-	Compressão	M3 - 4	2,9	100% Madeira
M4 - 1	-	Compressão	M4 - 3	-	Compressão
M4 - 2	-	Compressão	M4 - 4	-	Compressão
M5 - 1	-	Compressão	M5 - 3	2,5	100% Madeira
M5 - 2	-	Compressão	M5 - 4	-	Compressão
M6 - 1	-	Compressão	M6 - 3	-	Compressão
M6 - 2	-	Compressão	M6 - 4	-	Compressão
M7 - 1	-	Compressão	M7 - 3	-	Compressão
M7 - 2	2,5	100% Madeira	M7 - 4	-	Compressão
M8 - 1	3,6	100% Madeira	M8 - 3	3,0	100% Madeira
M8 - 2	-	Compressão	M8 - 4	3,0	90% Madeira
M9 - 1	-	Compressão	M9 - 3	-	Compressão
M9 - 2	-	Compressão	M9 - 4	-	Compressão
M10 - 1	-	Compressão	M10 - 3	2,7	100% Madeira
M10 - 2	-	Compressão	M10 - 4	2,9	100% Madeira
M11 - 1	4,0	100% Madeira	M11 - 3	3,3	30% Madeira
M11 - 2	4,6	100% Madeira	M11 - 4	2,8	100% Madeira
M12 - 1	-	Compressão	M12 - 3	-	Compressão
M12 - 2	-	Compressão	M12 - 4	-	Compressão
M13 - 1	-	Compressão	M13 - 3	-	Compressão
M13 - 2	-	Compressão	M13 - 4	-	Compressão
M14 - 1	5,7	100% Madeira	M14 - 3	-	Compressão
M14 - 2	-	Compressão	M14 - 4	-	Compressão
M15 - 1	-	Compressão	M15 - 3	3,2	100% Madeira
M15 - 2	-	Compressão	M15 - 4	2,6	100% Madeira
M16 - 1	3,3	100% Madeira	M16 - 3	3,3	100% Madeira
M16 - 2	3,0	100% Madeira	M16 - 4	-	Compressão
M17 - 1	3,4	100% Madeira	M17 - 3	3,4	100% Madeira
M17 - 2	2,9	90% Madeira	M17 - 4	2,5	95% Madeira
M18 - 1	3,6	100% Madeira	M18 - 3	-	Compressão
M18 - 2	2,9	100% Madeira	M18 - 4	-	Compressão
Média	3,7	-	Média	2,9	-
CV (%)	24	-	CV (%)	10	-
Desvio Padrão	0,88	-	Desvio Padrão	0,29	-

Tabela 16 - Resultados de f_v e análise visual para os ensaios de cisalhamento das amostras coladas com Purbond, usando corpos de prova secos e saturados.

CP	Seco		CP	Saturado	
	f_v (Mpa)	Análise Visual		f_v (Mpa)	Análise Visual
P1 - 1		Compressão	P1 - 3		Compressão
P1 - 2		Compressão	P1 - 4		Compressão
P2 - 1		Compressão	P2 - 3		Compressão
P2 - 2	5,0	100% Madeira	P2 - 4		Compressão
P3 - 1	4,2	100% Madeira	P3 - 3	2,7	100% Madeira
P3 - 2		Compressão	P3 - 4	2,6	100% Madeira
P4 - 1	2,9	100% Madeira	P4 - 3		Compressão
P4 - 2	1,9	100% Madeira	P4 - 4		Compressão
P5 - 1		Compressão	P5 - 3		Compressão
P5 - 2		Compressão	P5 - 4	3,2	100% Madeira
P6 - 1		Compressão	P6 - 3		Compressão
P6 - 2	4,2	100% Madeira	P6 - 4		Compressão
P7 - 1		Compressão	P7 - 3	3,6	100% Madeira
P7 - 2		Compressão	P7 - 4		Compressão
P8 - 1		Compressão	P8 - 3		Compressão
P8 - 2		Compressão	P8 - 4		Compressão
P9 - 1	3,6	100% Madeira	P9 - 3	2,8	50% Madeira
P9 - 2		Compressão	P9 - 4	2,8	100% Madeira
P10 - 1	3,1	10% Madeira	P10 - 3		Compressão
P10 - 2		Compressão	P10 - 4	3,1	100% Madeira
P11 - 1		Compressão	P11 - 3		Compressão
P11 - 2		Compressão	P11 - 4		Compressão
P12 - 1	4,5	100% Madeira	P12 - 3	1,9	100% Linha de Cola
P12 - 2	2,0	100% Linha de Cola	P12 - 4	3,3	100% Linha de Cola
P13 - 1		Compressão	P13 - 3	3,2	50% Madeira
P13 - 2		Compressão	P13 - 4	3,3	100% Madeira
P14 - 1	3,8	90% Madeira	P14 - 3	3,8	100% Madeira
P14 - 2	3,6	50% Madeira	P14 - 4	1,7	100% Madeira
P15 - 1	2,5	100% Madeira	P15 - 3		Compressão
P15 - 2	4,0	100% Madeira	P15 - 4	2,4	100% Madeira
P16 - 1		Compressão	P16 - 3	3,0	100% Madeira
P16 - 2		Compressão	P16 - 4		Compressão
P17 - 1		Compressão	P17 - 3		Compressão
P17 - 2	2,4	100% Linha de Cola	P17 - 4		Compressão
P18 - 1	4,8	20% Madeira	P18 - 3	2,5	20% Madeira
P18 - 2	3,0	50% Madeira	P18 - 4	3,2	100% Madeira
Média	3,5		Média	2,9	
CV(%)	28%		CV(%)	19%	
Desvio Padrão	0,96		Desvio Padrão	0,55	

Tabela 17 - Frequência dos eventos observados no ensaio de cisalhamento, segundo observação visual.

Evento	Cascophen		Melamina		Purbond	
	seco	saturado	seco	saturado	seco	saturado
Compressão / %	55,6	72,2	64	61,0	55,5	53,0
100 % madeira / %	8,3	-	30,4	30,4	25,0	33,0
100 % linha cola / %	5,5	8,3	-	-	5,5	5,5
Outros / %	30,6	19,3	5,6	8,4	14,0	8,5

A alta frequência de compressão observada em todos os casos sugere que alta porosidade da madeira, tenha permitido a compressão, em detrimento da ruptura do corpo de prova.

Com relação aos adesivos observa-se que a Melamina e o Purbond apresentaram a maior frequência de ruptura tipo 100% na madeira, sugerindo que esses apresentaram maior adesividade, não havendo diferença significativa entre o seco e saturado.

A força de ruptura para os diferentes adesivos foi determinada considerando-se os resultados para os corpos de prova, em que houve ruptura, desconsiderando-se aqueles em que ocorreu compressão. A Figura 22 apresenta a média das forças de ruptura para cada adesivo utilizado e os respectivos tratamentos.

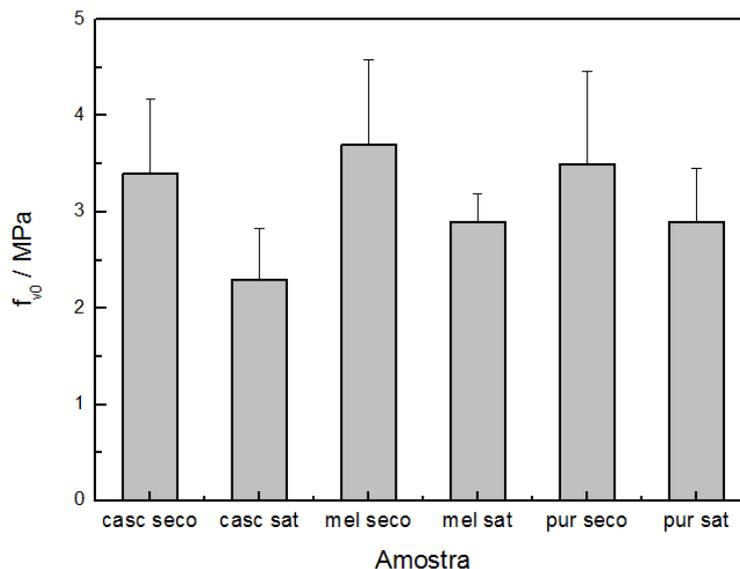


Figura 22 - Valores médios das forças de ruptura, f_{v0} , para cada adesivo Cascophen (casc), Melamina (mel) e Purbond (pur), para corpos de prova seco ou saturado (sat).

Nesta figura nota-se que os adesivos apresentam melhor desempenho quando secos, ficando os valores de f_v , menores quando os corpos de prova se apresentam saturados.

A Tabela 18 apresenta um sumário da avaliação estatística, pelo test t-Student, para os valores apresentados na Figura 22, para confirmar se há diferença entre os mesmos tendo em conta os valores de desvio padrão.

Tabela 18 - Comparação estatística entre os valores de f_v para as amostras coladas com o mesmo adesivo e entre os adesivos, para corpos de prova secos e saturados

Adesivo ^a	Sistemas comparados ^b	Graus de liberdade	t_{calc}	t_{tab}
Cascophen	Seco/Sat	26	4,278	2,056
Melamina	Seco/Sat	15	3,124	2,145
Purbond	Seco/Sat	25	2,185	2,060
casco/mel	Seco	26	0,960	2,056
casco/pur	Seco	31	0,323	2,040
mel/pur	Seco	29	0,584	2,045
casco/mel	Sat	14	3,249	2,131
casco/pur	Sat	22	2,801	2,074
mel/pur	Sat	26	0	2,056

a- casco = Cascophen, mel = Melamina, pur = Purbond

b- sat = saturado

Comparando-se os f_v para as amostras coladas com o mesmo adesivo, porém seco ou saturado, nota-se que todos são estatisticamente diferentes. Para o Cascophen seco ($3,4 \pm 0,8$ MPa) o valor é maior que para a amostra saturada ($2,3 \pm 0,5$ MPa), assim como ocorre para a Melamina seca ($3,7 \pm 0,9$ MPa) e saturada ($2,9 \pm 0,3$ MPa) e para o Purbond seco ($3,5 \pm 0,9_6$ MPa) e saturado ($2,9 \pm 0,5$ MPa)

Quando se abordam os corpos de prova secos, os valores de f_{v0} se apresentam na ordem:

Melamina ($3,7 \pm 0,9$ MPa), **Purbond** ($3,5 \pm 0,9_6$ MPa) e **Cascophen** ($3,4 \pm 0,8$ MPa),

porém, para os diferentes adesivos, tem-se valores estatisticamente equivalentes, segundo os dados da Tabela 18.

No caso dos corpos de prova saturados os adesivos apresentam desempenho na ordem:

Melamina ($2,9 \pm 0,3$ MPa) \cong **Purbond** ($2,9 \pm 0,5$ MPa) $>$ **Cascophen** ($2,3 \pm 0,5$ MPa)

já, nesta situação, há diferença significativa entre os desempenhos dos adesivos e a Melamina e o Purbond, apresentam valores de f_{v0} , superiores aos do Cascophen, sugerindo maior recomendação para uso em aplicações externas mais vantajosa para os dois primeiros.

Os corpos de prova que sofreram cisalhamento tiveram amostras submetidas a ensaios de compressão. Os resultados são apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 – Compressão dos corpos de prova que cisalharam.

CP	fc0 (Mpa)	CP	fc0 (Mpa)	CP	fc0 (Mpa)
C14 - 1	29,0	M10 - 4	13,9	P15 - 4	19,9
C15 - 2	31,6	M17 - 1	25,9	P10 - 1	19,4
C11 - 2	20,5	M17 - 4	13,4	P12 - 1	30,7
C18 - 1	21,3	M15 - 4	20,8	P17 - 2	21,1
C15 - 1	34,4	M17 - 3	18,7	P14 - 2	13,1
C12 - 1	28,0	M10 - 3	11,4	P12 - 2	19,4
C12 - 2	17,8	M11 - 3	14,9	P15 - 2	34,0
C14 - 2	28,3	M15 - 3	14,4	P18 - 1	35,7
C11 - 1	31,6	M11 - 4	10,1	P15 - 1	32,4
C10 - 1	25,8	M16 - 3	11,0	P18 - 2	30,7
C17 - 1	32,1	M5 - 3	16,1	P14 - 1	25,9
C4 - 2	26,1	M1 - 3	13,6	P13 - 2	21,6
C2 - 2	21,1	M8 - 3	10,0	P9 - 2	14,3
C8 - 2	34,4	M3 - 4	15,1	P2 - 2	32,0
C5 - 2	25,8	M8 - 4	14,1	P3 - 1	13,3
C13 - 2	28,3	M11 - 1	25,0	P6 - 2	19,8
C5 - 3	13,7	M18 - 2	26,7	P9 - 1	16,2
C11 - 4	18,0	M17 - 2	29,2	P5 - 4	8,8
C14 - 4	30,2	M16 - 1	15,8	P3 - 4	10,3
C12 - 4	17,0	M11 - 2	20,2	P3 - 3	8,8
C18 - 4	14,9	M18 - 1	24,2	P9 - 3	8,4
C16 - 3	19,4	M14 - 1	28,4	P9 - 4	7,2
C15 - 4	25,8	M15 - 1	14,6	P4 - 2	12,1
C13 - 3	25,4	M16 - 2	24,9	P4 - 1	9,8
C15 - 3	25,4	M15 - 2	14,7	P7 - 3	10,2
C10 - 4	20,1	M1 - 1	22,2	P13 - 4	23,8
-	-	M8 - 1	30,5	P14 - 4	12,2
-	-	M1 - 2	24,4	P10 - 4	16,4
-	-	M7 - 2	30,5	P13 - 3	21,1
-	-	-	-	P18 - 3	20,7
-	-	-	-	P16 - 3	16,4
-	-	-	-	P14 - 3	18,8
-	-	-	-	P18 - 4	18,6
-	-	-	-	P12 - 4	24,6
-	-	-	-	P12 - 3	17,5
Média	24,8	Média	19,1	Média	19,0
CV (%)	24	CV (%)	34	CV (%)	42
Desvio Padrão	5,97	Desvio Padrão	6,57	Desvio Padrão	7,95

6.6 – Ciclo de Delaminação

Estes ensaios tinham por objetivo verificar o descolamento sob as condições previstas na norma CSA 0112.9:2004. A Figura XX 16 apresenta uma visão geral dos corpos de prova antes e depois de serem submetidos ao ensaio, enquanto a Figura 23 mostra detalhes de corpos de prova preparados com Melamina (M14) e Cascophen (C1), nas mesmas situações.



Figura 23 - Visão geral do conjunto dos corpos de prova (a) antes e (b) após serem submetidos ao ensaio de delaminação. No detalhe, dois corpos de prova preparados com Melamina (M14) e Cascophen (C1) (c) antes e (d) após serem submetidos ao ensaio de delaminação.

Como pode ser observado, nenhum corpo de prova apresentou delaminação, todos permaneceram colados e praticamente intactos, o que sugere que os adesivos e os tratamentos químicos utilizados são adequados à preparação de MLC à partir de lamelas de Paricá.

6.6 - Ensaio de Fluência

Neste caso, o ensaio não pode ser concluído com sucesso, pois dos seis corpos de prova utilizados, apenas dois resistiram até o final do teste. Os outros quatro se romperam no momento do descarregamento da carga, de maneiras diferentes, conforme apresentado na Figura 24.



Figura 24 - Exemplos de corpos de prova que apresentaram ruptura no momento de descarregar a carga, no início do ensaio: (a) fratura de base, (b) fratura de topo.

Os corpos de prova que resistiram até o final do ensaio eram colados com Cascophen e com Melamina, submetidas respectivamente aos tratamentos CCA e CCB. Esses corpos de prova tiveram marcação das suas linhas laterais e central, como mostra a Figura 25. Essas marcações servem para definir a orientação da posição do corpo de prova no ensaio e para medições das alterações provocadas durante o teste.

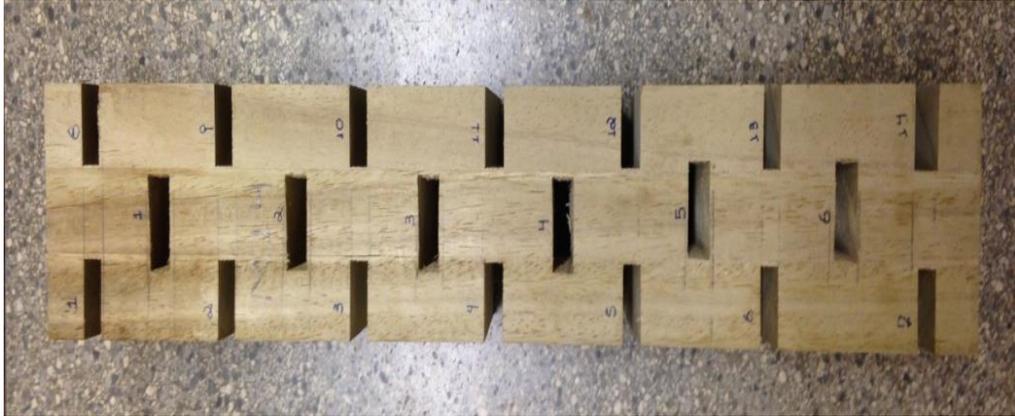


Figura 25 - Representação da marcação nas linhas laterais e central dos corpos de prova submetidos aos ensaios de fluência.

A partir das medidas efetuadas com os corpos de prova que resistiram até o final do ensaio, foram obtidos os dados da Tabela 20.

Tabela 20 - Evolução das medidas de força nos relógios comparadores 1 e 2, durante os ensaios de fluência para os dois corpos de prova que resistiram até o final da medida.

Dia	Hora	Amostra C1		Amostra M14	
		Relógio		Relógio	
		1	2	1	2
1	09:00	110	162	100	75
	12:00	130	175	115	180
	15:00	135	179	120	186
	18:00	138	180	122	188
2	09:00	152	189	138	195
	12:00	155	190	141	196
	15:00	156	191	144	198
	18:00	168	191	145	199
3	09:00	170	202	148	206
	12:00	182	206	150	210
	15:00	184	206	155	210
	18:00	184	208	155	210
4	09:00	-	-	160	214
	12:00	-	-	162	214
	15:00	-	-	162	214
	18:00	-	-	165	214
5	09:00	275	214	172	216
	12:00	-	-	-	-
	15:00	-	-	-	-
	18:00	-	-	-	-
6	09:00	275	214	178	216
	12:00	-	-	-	-
	15:00	-	-	-	-
	18:00	-	-	-	-
7	09:00	-	-	-	-
	12:00	-	-	-	-
	15:00	-	-	-	-
	18:00	275	214	179	216

Umidade relativa: $60 \pm 5 \%$

Temperatura: $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$

Com estes dados foram construídos os gráficos da Figura 26, que mostram a evolução da força com o tempo, podendo-se concluir que a estabilização ocorreu em torno de 90 h, para os dois corpos de prova.

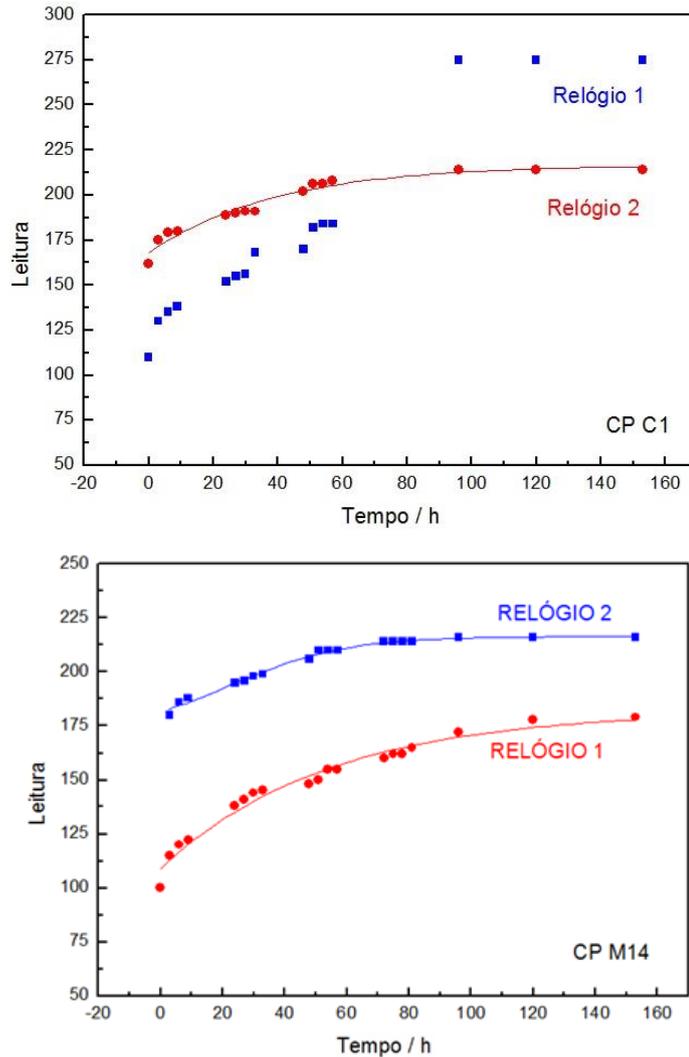


Figura 26 - Evolução da força com o tempo, nos dois registradores, para os dois corpos de prova que resistiram até o final do ensaio de fluência.

Os resultados das medições das linhas laterais e centrais dos corpos de prova que resistiram ao experimento, antes e após os ensaios de fluência são apresentados na Tabela 21.

De maneira geral observa-se uma diminuição nos valores das linhas laterais e centrais, após ensaiadas, em relação aos valores antes do ensaio. Isso pode estar relacionado com a porosidade e densidade da madeira, que permitiu a compressão irreversível do corpo de prova. Isso sugere que as características da madeira são mais marcantes que o efeito do adesivo.

Tabela 21 - Resultados do teste de fluência. Medição das linhas laterais e centrais dos corpos

de prova que resistiram até o final dos experimentos, antes e depois dos ensaios.

Corpo de Prova C1							
Antes				Depois			
Linha lateral / mm		Linha central / mm		Linha lateral / mm		Linha central / mm	
1	9,67	1	12,18	1	9,60	1	12,12
2	10,68	2	12,45	2	10,56	2	12,27
3	10,40	3	12,47	3	10,01	3	12,34
4	11,80	4	12,54	4	10,64	4	12,20
5	9,53	5	12,16	5	9,35	5	12,10
6	10,96	6	12,22	6	10,75	6	12,13
7	10,48			7	10,03		
8	10,09			8	9,93		
9	10,62			9	10,00		
10	10,22			10	11,23		
11	11,25			11	9,98		
12	10,06			12	9,96		
13	9,52			13	9,39		
14	10,61			14	10,54		

Corpo de Prova C1							
Antes				Depois			
Linha lateral / mm		Linha central / mm		Linha lateral / mm		Linha central / mm	
1	10,17	1	12,20	1	9,89	1	11,93
2	10,16	2	12,18	2	9,74	2	12,08
3	10,65	3	12,03	3	10,20	3	12,11
4	11,17	4	12,15	4	10,95	4	12,00
5	10,36	5	12,33	5	10,20	5	12,03
6	9,70	6	12,22	6	9,62	6	12,12
7	9,77			7	9,70		
8	9,86			8	9,70		
9	10,44			9	10,28		
10	10,16			10	10,12		
11	11,24			11	11,00		
12	11,18			12	11,04		
13	9,41			13	9,07		
14	12,47			14	12,04		

6.8 – Imagens de MEV

As imagens de MEV foram utilizadas como ferramenta qualitativa para avaliar a penetração da cola na madeira. Para os estudos de MLC, analisar o quanto a cola aderiu na madeira e o modo como se comportou a penetração do adesivo com a prensagem, colabora intensamente para interpretação de resultados na escala macroscópica, como os ensaios mecânicos. Uma vez que, a profundidade da penetração do adesivo vai determinar o tamanho da região de interfase.

Pizzi (1983) afirmou que para dois materiais estarem colados com aderência máxima o adesivo deve fluir para molhar os aderentes antes de atingir um estado rígido e produzir um contato íntimo. As moléculas do adesivo devem difundir na superfície para um maior contato com a estrutura molecular da madeira, de modo que as forças intermoleculares do adesivo e da madeira possam se tornar eficazes.

Sernek et al (1999) reportaram que a penetração adesiva é definida pela distância espacial entre a interface do substrato com penetração pela madeira. Conforme definido por Kamke e Brady (1988), o volume que contém as células da madeira com adesivo é a região de interface da ligação adesiva.

Uma dificuldade encontrada na preparação das amostras foi que no momento de cortar as lâminas das vigas, a serra amassou as fibras e estas esconderam as células da madeira, o que dificultou a análise por penetração da cola na contagem de células. Assim, as imagens apresentam a linha de cola, e a espessura da mesma como produto final. Em algumas imagens será possível verificar partes íntegras das células e de vasos.

Na sequência são apresentadas imagens de MEV (Figuras 26 – 31).

Amostra 7 Melamina CCB M16 Amostra 2 A

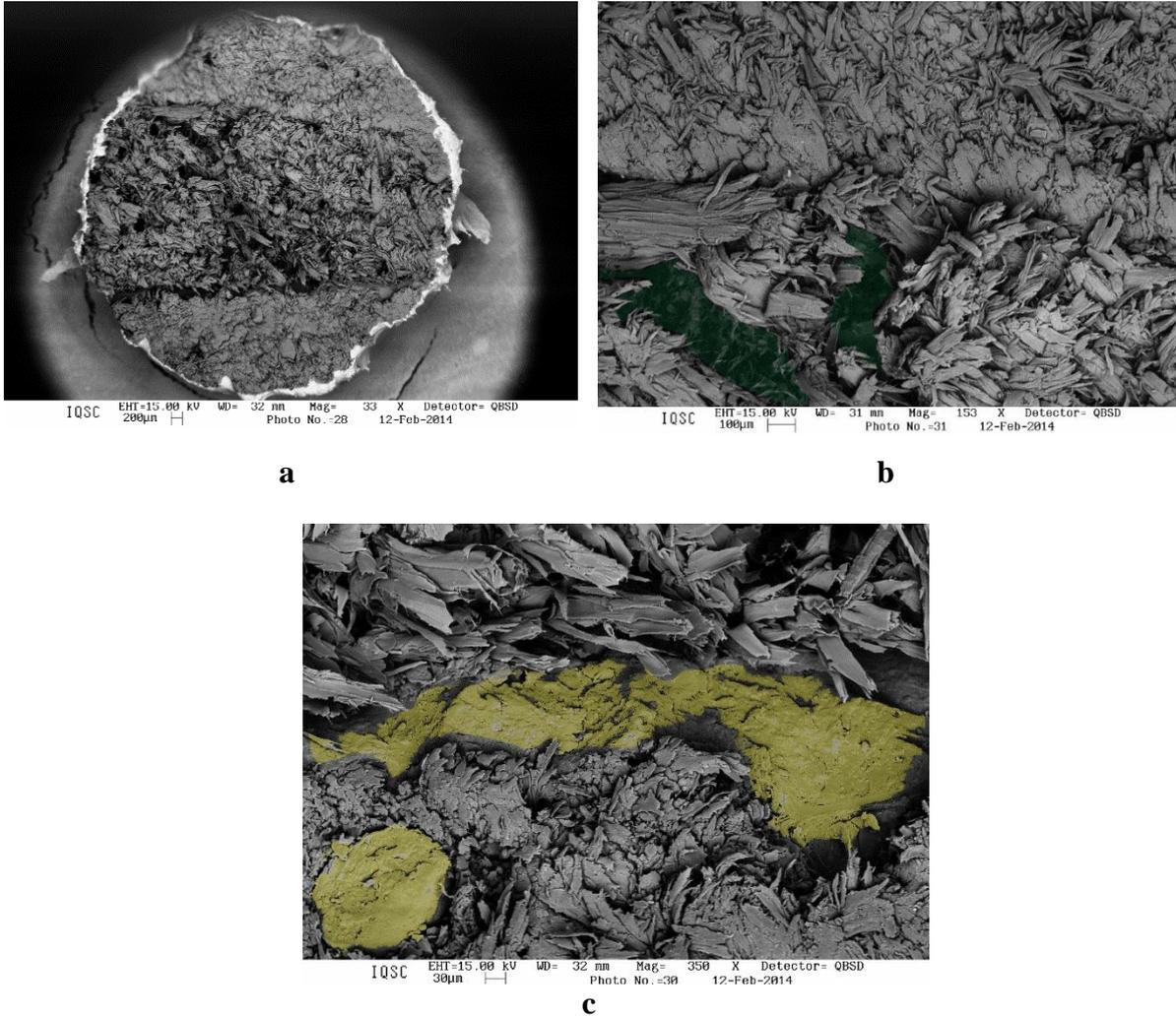
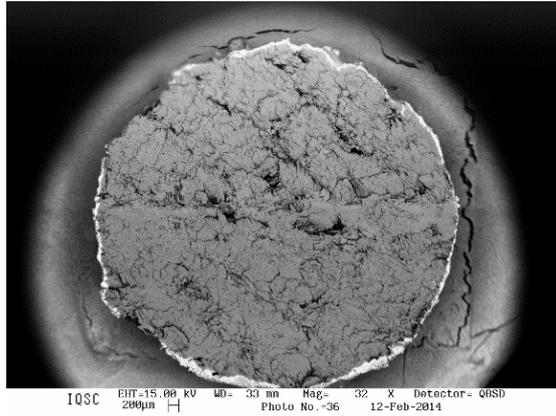
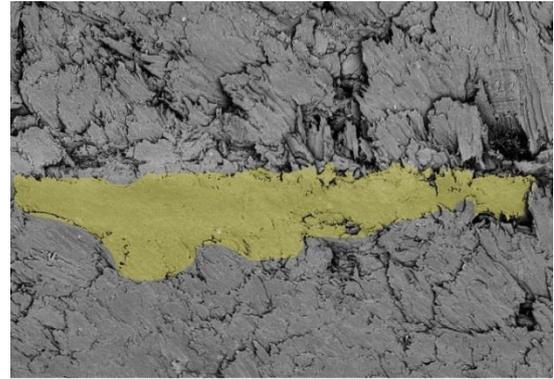


Figura 27 - Imagens da amostra 7 da viga M16. (a) corpo de prova ampliado (b) em verde, detalhes das células que aparecem entre as fibras amassadas (c) em amarelo, linha de cola, adesivo.

Amostra 9 Cascophen CCA C4 Amostra 1A



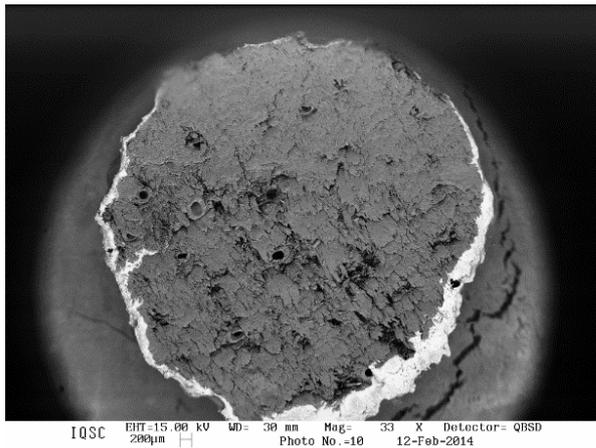
a



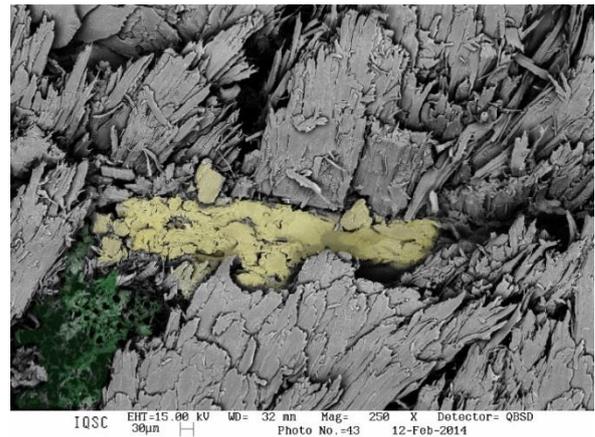
b

Figura 28 - Imagens da amostra 9 da viga C4. (a) corpo de prova ampliado (b) em amarelo, linha de cola, adesivo.

Amostra 10 Cascophen CCA C4 Amostra 1B



a



b

Figura 29 - Imagens da amostra 10 da viga C4. (a) corpo de prova ampliado (b) em amarelo, linha de cola, em verde as células.

Amostra 13 Purbond CCB P16 Amostra 1A

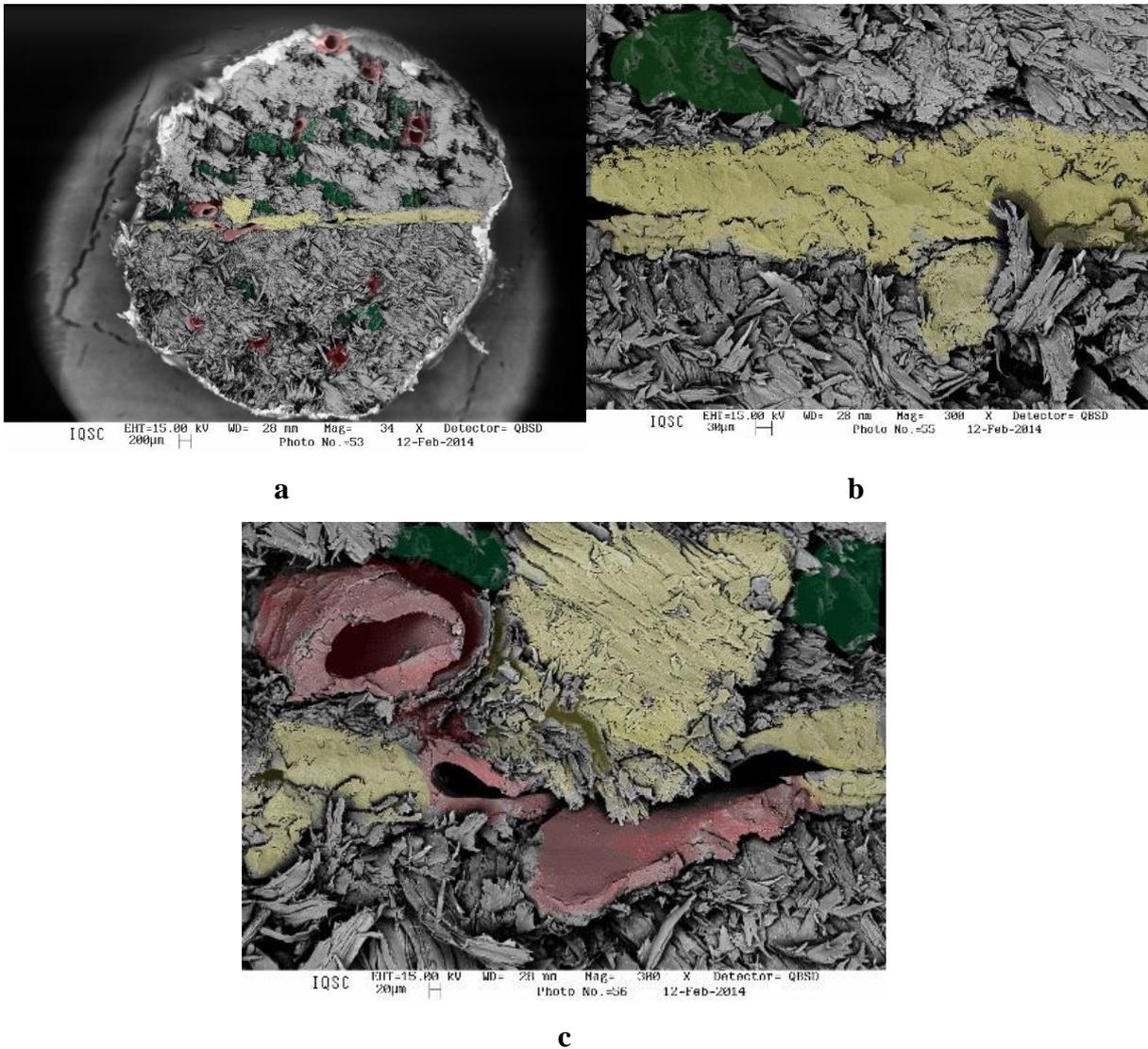


Figura 30 - Imagens da amostra 13 da viga P16. (a) corpo de prova ampliado, detalhes em verde das células, em vermelho dos vasos e em amarelo da linha de cola (b) em amarelo, linha de cola, em verde as células, (c) detalhes em verde das células, em vermelho dos vasos e em amarelo da linha de cola.

Amostra 18 Cascophen CCB C7 Amostra 1B

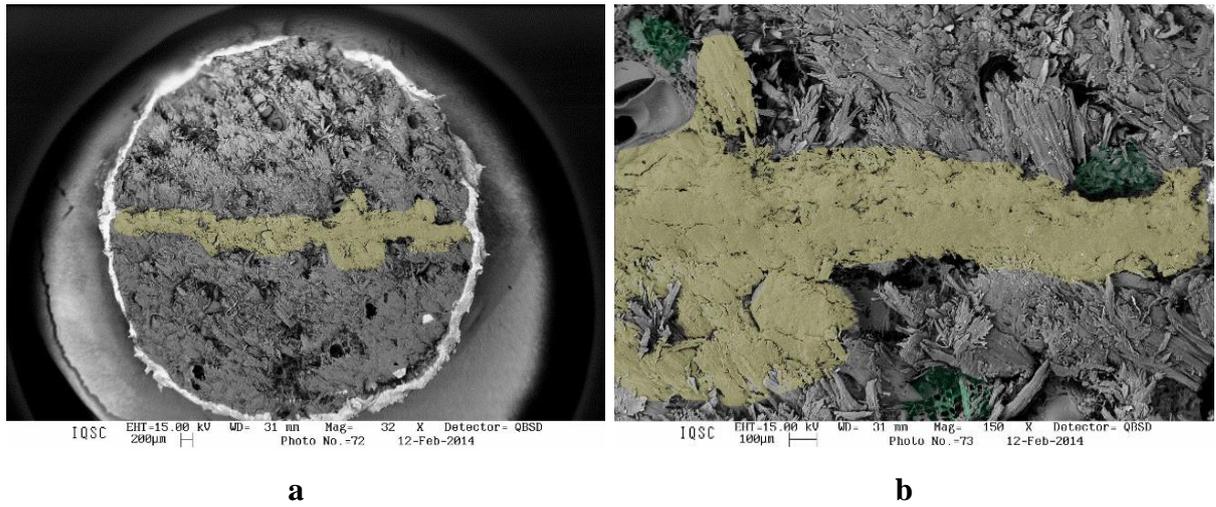


Figura 31 - Imagens da amostra 18 da viga C7. (a) corpo de prova ampliado (b) em amarelo a linha de cola, em verde as células.

Amostra 20 Cascophen CCB C7 Amostra 2B

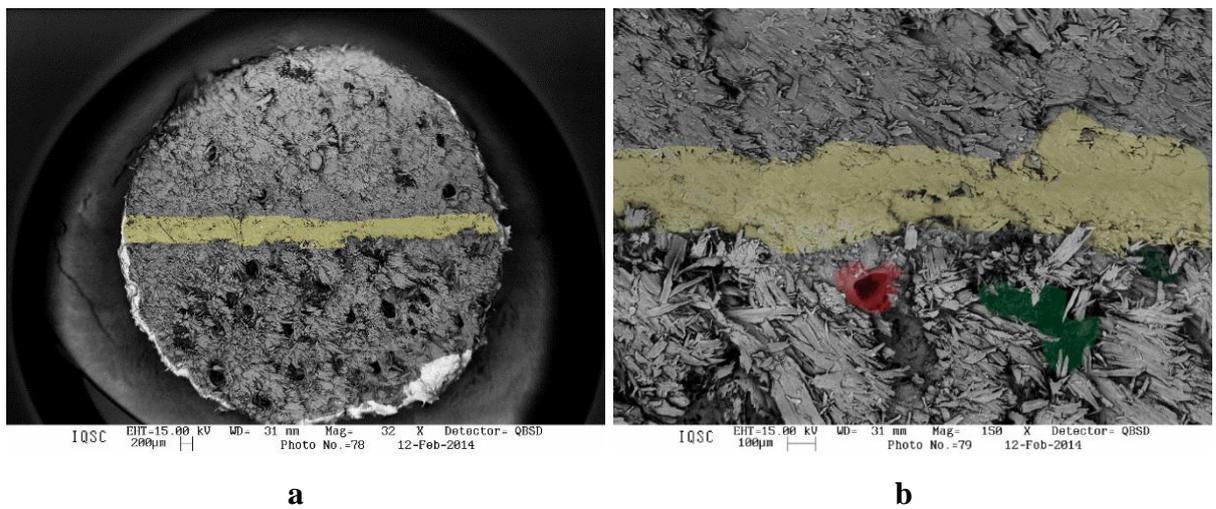


Figura 32 - Imagens da amostra 20 da viga C7. (a) corpo de prova ampliado detalhe da linha de cola bem definida em amarelo, (b) em amarelo, linha de cola, em verde as células.

7 – Conclusões

Os ensaios de compressão paralela às fibras mostraram que a madeira de Paricá apresenta propriedades de resistência e de rigidez que permite classificá-la como madeira D20 das dicotiledôneas.

O ensaio de delaminação comprova a boa aderência da madeira aos adesivos, sendo que nenhum dos corpos de prova ensaiados apresentou delaminação nas linhas de cola, confirmados pelas imagens de microscopia (MEV) onde isto torna-se bem visível.

Os resultados também demonstram que os tratamentos CCA e CCB não interferiram nos resultados dos ensaios mecânicos.

A partir dos ensaios realizados nesta pesquisa conclui-se a viabilidade da utilização de MLC da espécie Paricá e uma vez que os resultados dos ensaios realizados apresentaram uma equivalência estatística nas combinações entre os adesivos e os tratamentos, as combinações muito semelhantes, mostram que os adesivos e os tratamentos podem ser utilizados na confecção do MLC independentemente de suas combinações.

8 - Referências Bibliográficas

Adesivos PURBOND para estruturas de madeira 2009. Disponível em: http://www.purbond.com/purbond/files/4-6-2009_19-29-12_PurbondBayerBroschuerePortugiesisch95.pdf. Acesso em: 13 maio 2014.

AMERICAN INSTITUTE OF TIMBER CONSTRUCTION (2005). AITC 115: Standard for Fabricated Structural Timber Components and Assemblies NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods, <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1997). NBR 7190/97:Projeto de estruturas de madeira.

AZAMBUJA M.A. (2006) Estudo experimental de adesivo para fabricação de madeira laminada colada: avaliação da resistência de emendas dentadas, da durabilidade e de vigas. Tese (doutorado) - EESC, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

BASSET, K.H. (1960). Effect of certain variables on strength of glued end joints. **Forest Products Journal**, v.10, n.11, p.579-585.

BRADY, D.A.; KAMKE, F.A. Effects of hot-pressing parameters on resin penetration. *Forest Products. Journal*, Madison, v.38, n.11/12, p.63-68, 1988.

BLOMQUIST, R. F., A. W. CHRISTIANSEN, R.H. GILLESPIE, AND G.E. MYERS. (1981). Adhesive bonding of wood and other structural materials. Volume III, Clark C. Heritage Memorial Series on Wood, Madison, Wis.12 –110.

BODIG, J.; JAYNE, B. (1993) **MECHANICS OF WOOD AND WOOD COMPOSITES HARDCOVER**. 2. ed. Malabar, Flórida: Krieger.

CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION (2006). 077 Qualification Code for Manufactures of Structural Glued – Laminated Timber. p .16

CALIL NETO C. (2011). **Madeira laminada colada (MLC): controle de qualidade em combinações espécie adesivo-tratamento preservativo**. 123p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

CALIL NETO C. (2014). **Ligações com parafusos autoatarrachantes sem pré-furação para uso em estruturas de madeira**. 326p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

CARVALHO, P. E. R. (2007). **Paricá, Schizolobium amazonicum, Taxonomia e Nomenclatura**. Circular Técnica 142, Colombo: Embrapa.

CAVALCANTE, M. S. (1979). **Preservação de madeiras no Brasil**. São Paulo: Instituto de Pesquisas tecnológicas do Estado de São Paulo S.A.

CHANS, M. D. O; CIMADEVILA J. E.; GUTIÉRREZ E. M.; RODRÍGUEZ J. A. V. (2010). Influence of timber density on the axial strength of joints made with glued-in steel rods: An experimental approach. **Int. J. Adhes. Adhes.** v. 30 380–385.

CUSTÓDIO J.; BROUGHTONB J.; CRUZ H. (2009). A review of factors influencing the durability of structural bonded timber joints. **Int. J. Adhes. Adhes.** v. 29, 173– 185.

DAVIS, G. (1997). The performance of adhesive systems for structural timbers. **Int. J. Adhesion and Adhesives**, v.17, p. 247 255.

DIAS; F. M.; Lahr, F. A. R.; Alternative Castor Oil-Based Polyurethane Adhesive Used in the Production of Plywood. *Materials Research, São Carlos*, v. 7, n. 3, p.413-420, 2004.

DIAS F. M. (2005). **Aplicação de Resina Poliuretana à Base de Mamona na Fabricação de Painéis de Madeira Compensada**. 178p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

DUCKE, A. (1949). **Notas sobre a flora neotrópica II: asleguminosas da Amazônia brasileira**. Belém: IAN, 248 p. (IAN. Boletim Técnico, 18).

EATON, R. A.; HALE, M.D.C. (1993). **Wood: decay, pests and protection**. London: Chapman & Hall.

EVANS, P.D.; BEUTEL, P.J.; DONNELLY, C.; CUNNINGHAM, R.B. (2000). Surface Checking of CCA-treated Radiata Pine Decking Timber Exposed to natural Weathering. In: ANNUAL MEETING, 31, Kona, 2000. Proceedings... Stockholm: The International Research Group on Wood Preservation.

FLORESTAL ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL, 8., 2000, Nova Prata. **Proceedings...** Nova Prata: Prefeitura Municipal; Santa Maria: p. 271-279. 1 CD-ROM.

FOREST PRODUCTS LABORATORY (1999). **Wood Handbook: wood as an engineering material**. Madison: U.S. Department of Agriculture.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. (2010). **Wood handbook : wood as an engineering material**. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.

GRAEFF A. (1995) **Estudo da Madeira Laminada-colada com Emendas de Topo Reforçadas com Fibra de Vidro**. 151p. Dissertação (Mestrado) - UFSC, Florianópolis, 1995.

GRANATO, A. F. (2011). **Aspectos tecnológicos da fabricação de elementos estruturais de madeira laminada colada**. TCC, UFSCar, São Carlos, 2011.

IWAKIRI, S. (1998). **Painéis de Madeira, Fundação de Pesquisas Florestais – FUPEF Paraná: UFP, n. 01/98**.

JANKOWSKY I. P. (1979). **Influência da densidade básica e do teor de extrativos na umidade de equilíbrio da madeira**. 94p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1979.

JESUS, J. M. H.; CALIL Jr, C.; CHIERICE, G. O. (2000). Resistência ao cisalhamento do adesivo poliuretano à base de mamona: parâmetros de colagem. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E EM ESTRUTURA DE MADEIRA, 7, 2000, São Carlos . **Proceedings...** São Carlos: EESC; USP.

LATORRACA, J. V. F.; ALBUQUERQUE, C. E. C. (2005). Colagem varia de acordo com as propriedades da madeira. **Revista da Madeira**, n.88, p 28-32.

LEPAGE, E.S. (1986). Preservativos e sistemas preservativos. Manual de preservação de Madeiras. São Paulo: IPT, v.1, p.279-330.

LORENZI, H. (2002) **Árvores do Brasil: manual de identificação e cultivo de plantas nativas do Brasil**, v. 1, 4.ed., Instituto Plantarum, Nova Odessa, pag. 180.

MANTILLA CARRASCO, E. V. M. (1989). **Resistência, elasticidade e distribuição de tensões nas vigas retas de madeira laminada colada**. Tese (Doutorado) - EESC, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1989.

MELOTTO M. A. (2007). **Estudo do tempo de adesão, da temperatura e da pressão de colagem na tensão limite de cisalhamento de uniões de madeira de *Eucalyptus grandis***

coladas com adesivo sem solvente. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

MOTTA, J.P.; OLIVEIRA, J.T.S.; ALVES, R.C. (2012). Influência do teor de umidade nas propriedades de adesão da madeira de Eucalipto. **Construindo**, v.4, n.2, p. 96-103,

NASCIMENTO, A. M.; LELIS, R. C. C.; COSTA, D. L.; OLIVEIRA, C. S. (2002). Comportamento de ligações adesivas em madeira de reflorestamento. **Revista Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v.9, n.1, p.54-62.

Norma Chilena (2010). NCh 2148. *Madera laminada encolada estructural - Requisitos e inspección.*

Norma Canadense (2004). CSA 0112.9:2004.

PANSHIN, A.J., DE ZEEUW, C. (1980). **Textbook of wood technology.** New York: McCraw-Hill.

PIO CORREA, M. (1952). **Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas.** Rio de Janeiro: Serviço de Informação Agrícola/MA, v. 3.

PIZZI, A.; MITTAL, K. L. (2011). **Wood adhesives.** CRC Press.

TSOUMIS, G. (1991). **Science and technology of wood:** structure, properties, utilization. Nova York: Van Nostrand Reinhold.

PIZZI, A., 1983. Wood adhesives: **Chemistry and Technology**, V. 1, Marcel Dekker, New York.

PRODUTOS PRESERVANTES DA MADEIRA. Disponível em: <http://engmadeira.yolasite.com/resources/Preservantesdemadeira.pdf>. Acesso em 13 maio 2014.

PROPERZI, M., PIZZI, A., UZIELLI, L. (2003). Comparative wet wood glueing performance of different types of Glulam wood adhesives. **Holz als Roh und Werkstoff**, v.61, 77–78.

RADOVIC, B., ROTHKOPF, C. (2003). **Holz als Roh- und Werkstoff.** V. 62, Issue 6, p. 479-482.

RAKNES, E. (1997). Durability of Structural Wood adhesives after 30 years ageing. **European Journal of Wood and Wood Products**, Berlin, v. 55, n. 2 – 4, p.83-90, march.

REVISTA DA MADEIRA (2002) Disponível em: http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=264&subject=Preserva%C3%A7%C3%A3o&title=Preserva%C3%A7%C3%A3o. Acesso em 13 maio 2014.

ROSSI, L. M. B. et al. Aspectos silviculturais e sócio econômicos de uma espécie de uso múltiplo: o caso de *Schizolobium amazonicum* (Hub.) Ducke. In: CONGRESSO

SCHULTZ, J.; NARDIN, M. (1994). Theories and mechanisms of adhesion In: PIZZI, A.; MITTAL, K. L. **Handbook of Adhesive Technology**. New York: Marcel Dekker, p. 19-32.

SEGUNDINHO, P. G. A.; CARREIRA, M. R.; CALIL NETO, C.; REGAZZI, A. J.; DIAS, A. A.; CALIL JR, C. (2013). Avaliação do módulo de elasticidade de peças de madeira laminada colada (MLC) obtido por meio do ensaio de vibração transversal. **Ambiente Construído**, v.13, p.7-14.

SERNEK, M. J., RESNIK, J., KAMKE, F. A., (1999). Penetration of liquid urea formaldehyde adhesive into beech wood. **Wood and Fiber Science**, V. 31, p.41-48.

SKEIST, I. (1990). **Handbook of adhesives**. New York: Van Nostrand Reinhold.

SOUZA, C. R.; ROSSI, L. M. B.; AZEVEDO, C.P.; VIEIRA, A. H. (2003). Paricá: *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber x Ducke) Barneby. Manaus-AM: **Embrapa. Circular Técnica**, n. 18.

SZÜCS, C.A. **Madeira Laminada Colada: Aplicação Estrutural da Madeira sob a Técnica do Laminado Colado**. Florianópolis: UFSC, 1992.

SZÜCS, C.A.; VELLOSO, J.G. (2004). Uma experiência de apoio científico e tecnológico para o em estruturas de madeira. In: IX ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, Cuiabá. Proceedings... Cuiabá: UFMT.

TAVARES, L. C.; YARED, J. A. G.; SIVIERO, M. A. (2006). **A Evolução do Conhecimento sobre o Paricá para Reflorestamento no Estado Embrapa**. Comunicado Técnico, n.158, Belém.

TEREZO, R. F.; SZÜCS, C. A. (2010). Análise de desempenho de vigas em madeira laminada colada de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.38, n.87, p.471-480.

TEREZO R. F. (2010). **Avaliação tecnológica do paricá e seu uso em estruturas de madeira laminada colada**. Tese (Doutorado), UFSC, Florianópolis, 2010.

TRATAMENTO DA MADEIRA. Disponível em: <http://www.duronmadeiras.com.br/?link=tratamento>. Acesso em 13 maio 2014. Acesso em 13 maio 2014

VIDAURRE G. B. (2010). **Caracterização anatômica, química e físico-mecânica da madeira de Paricá (*Schizolobium amazonicum*) para produção de energia e pasta celulósica**. 2010. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

WILKINSON, J.G. (1979). **Industrial Timber preservation**. London: Associates Business Press.

YANG, T-H.; S-Y., WANG; LIN,C-J; TSAI, M-J. (2008). Evaluation of the Mechanical Properties of Douglas-Fir and Japanese Cedar Lumber and Its Structural Glulam by Nondestructive Techniques. **Construction and Building Materials**, v.22, p.487-493.

ZANGIÁCOMO A. L. (2003). **Emprego de espécies tropicais alternativas na produção de elementos estruturais de madeira laminada colada**. 103p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

ZANGIÁCOMO, A. L., ROCCO LAHR, F. A. (2002). Espécies tropicais alternativas na produção de madeira laminada colada. In: VIII ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 2002, Uberlândia. Proceedings... Uberlândia-MG: UFMG, (arquivo de computador).

ZANGIÁCOMO, A. L., ROCCO LAHR, F. A. (2002). Espécies tropicais alternativas na produção de madeira laminada colada In: VIII ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 2002. Uberlândia-MG. **Proceedings...** Uberlândia-MG: UFMG.

Apêndice 1

Dados usados para a determinação da densidade da madeira de Paricá

Lamelas	L (mm)	h1	h2	h3	hm (mm)	b1	b2	b3	bm (mm)	m	ρ (kg/mm ³)	ρ (kg/m ³)	ρ_m
1	2320,00	34,07	35,27	33,41	34,25	102,14	101,14	99,82	101,03	2,25	2,80	280,27	370,54
2	2310,00	34,48	34,82	35,04	34,78	101,72	104,20	102,40	102,77	2,50	3,02	302,77	
3	2300,00	34,86	36,05	37,29	36,07	99,22	100,28	99,27	99,59	3,10	3,75	375,24	
4	2310,00	35,00	33,36	35,02	34,46	100,90	100,27	100,20	100,46	2,60	3,25	325,14	
5	2290,00	35,00	35,37	34,45	34,94	104,53	101,56	100,69	102,26	1,95	2,38	238,33	
6	2340,00	36,17	36,48	35,48	36,04	89,56	94,98	98,86	94,47	3,35	4,20	420,46	
7	2330,00	33,11	33,51	35,84	34,15	99,80	99,92	98,17	99,30	3,40	4,30	430,28	
8	2315,00	32,42	33,79	32,81	33,01	101,94	101,58	101,12	101,55	2,20	2,83	283,53	
9	2315,00	34,22	34,94	34,60	34,59	99,99	101,03	100,31	100,44	2,90	3,60	360,59	
10	2290,00	34,49	35,49	34,71	34,90	101,78	103,75	100,53	102,02	2,60	3,18	318,91	
11	2310,00	35,12	34,74	32,69	34,18	101,36	103,15	101,21	101,91	3,10	3,85	385,24	
12	2290,00	35,92	34,61	35,00	35,18	100,28	100,86	100,07	100,40	3,65	4,51	451,29	
13	2320,00	36,47	36,10	36,05	36,21	99,97	101,20	100,27	100,48	3,25	3,85	385,06	
14	2330,00	34,67	35,35	34,89	34,97	101,16	101,93	98,50	100,53	3,30	4,02	402,87	
15	2340,00	35,06	35,23	33,57	34,62	102,52	103,22	102,50	102,75	3,00	3,60	360,42	
16	2310,00	28,27	32,11	34,28	31,55	100,07	99,21	97,54	98,94	2,10	2,91	291,20	
17	2310,00	35,33	34,28	35,33	34,98	100,05	99,41	98,01	99,16	2,40	2,99	299,54	
18	2300,00	34,65	34,92	34,61	34,73	100,83	100,32	98,90	100,02	2,45	3,06	306,69	
19	2330,00	36,99	34,81	32,65	34,82	98,87	99,61	100,17	99,55	3,25	4,02	402,44	
20	2320,00	35,57	35,51	35,70	35,59	101,34	102,46	102,25	102,02	2,55	3,02	302,70	
21	2320,00	34,11	34,94	33,50	34,18	100,14	98,87	94,35	97,79	2,70	3,48	348,16	
22	2315,00	32,81	33,57	32,55	32,98	99,56	101,55	100,89	100,67	2,65	3,44	344,83	
23	2330,00	33,49	34,32	33,10	33,64	101,99	102,52	98,33	100,95	3,30	4,17	417,11	
24	2320,00	35,04	35,03	35,40	35,16	101,05	102,04	101,86	101,65	3,15	3,79	379,93	

25	2340,00	36,33	35,28	36,08	35,90	100,62	101,09	100,53	100,75	3,15	3,72	372,23
26	2310,00	34,42	34,00	34,45	34,29	100,54	100,39	100,69	100,54	2,60	3,26	326,48
27	2330,00	35,10	34,62	35,50	35,07	98,93	101,21	101,23	100,46	2,40	2,92	292,35
28	2310,00	34,92	34,40	35,26	34,86	98,89	100,03	100,72	99,88	2,30	2,85	285,96
29	2290,00	34,86	33,98	34,68	34,51	99,88	99,91	98,99	99,59	3,25	4,12	412,97
30	2320,00	33,21	34,60	35,17	34,33	101,98	102,51	101,10	101,86	3,50	4,31	431,45
31	2340,00	33,81	34,40	33,91	34,04	102,08	101,62	101,91	101,87	2,95	3,63	363,56
32	2290,00	35,14	33,24	34,95	34,44	98,23	98,96	99,13	98,77	2,40	3,08	308,06
33	2300,00	34,69	34,51	34,12	34,44	101,91	103,07	101,23	102,07	2,00	2,47	247,37
34	2330,00	25,08	34,28	35,26	31,54	99,56	98,27	97,38	98,40	3,10	4,28	428,68
35	2330,00	34,86	33,94	33,00	33,93	99,06	99,34	98,74	99,05	3,90	4,98	498,01
36	2330,00	34,69	35,15	32,76	34,20	102,13	100,75	100,06	100,98	2,15	2,67	267,19
37	2285,00	34,48	34,48	34,65	34,54	99,77	101,15	101,44	100,79	3,25	4,08	408,61
38	2330,00	34,59	32,77	34,18	33,85	100,58	99,91	98,23	99,57	3,55	4,52	452,08
39	2350,00	31,96	33,75	33,09	32,93	99,02	98,58	99,43	99,01	2,75	3,58	358,88
40	2320,00	33,41	35,19	36,92	35,17	113,00	101,77	100,65	105,14	2,80	3,26	326,35
41	2330,00	33,50	34,82	33,45	33,92	102,04	102,16	98,11	100,77	3,25	4,08	408,04
42	2290,00	34,47	33,76	35,27	34,50	100,24	100,99	100,93	100,72	2,20	2,76	276,47
43	2325,00	33,07	31,67	36,09	33,61	94,29	98,43	99,80	97,51	3,15	4,13	413,41
44	2320,00	34,52	34,33	34,44	34,43	101,26	101,19	100,78	101,08	2,60	3,22	322,03
45	2340,00	34,42	34,47	34,00	34,30	100,79	102,64	102,34	101,92	3,10	3,78	378,98
46	2280,00	35,19	34,06	34,75	34,67	99,49	102,08	100,62	100,73	2,20	2,76	276,32
47	2310,00	34,93	31,94	34,65	33,84	99,06	99,61	99,18	99,28	2,55	3,28	328,57
48	2335,00	33,65	35,23	33,22	34,03	100,00	99,47	99,31	99,59	3,00	3,79	379,05
49	2335,00	35,44	34,16	34,97	34,86	103,61	101,52	98,79	101,31	3,05	3,69	369,90
50	2345,00	35,04	35,61	35,19	35,28	103,82	102,90	102,78	103,17	3,15	3,69	369,06
51	2350,00	34,97	35,91	31,41	34,10	96,64	100,66	99,03	98,78	2,50	3,15	315,87
52	2280,00	35,14	35,31	35,18	35,21	100,25	100,68	101,32	100,75	2,25	2,78	278,19
53	2260,00	34,81	34,53	34,02	34,45	103,20	102,40	102,63	102,74	2,70	3,37	337,50
54	2320,00	42,65	35,62	31,13	36,47	99,68	101,06	101,43	100,72	2,50	2,93	293,38

55	2310,00	34,20	34,43	34,38	34,34	103,64	103,58	102,86	103,36	3,20	3,90	390,33
56	2350,00	34,85	32,68	35,17	34,23	99,88	100,14	100,36	100,13	2,95	3,66	366,23
57	2300,00	36,67	35,72	32,66	35,02	97,87	97,94	97,03	97,61	3,35	4,26	426,12
58	2310,00	33,42	35,54	35,06	34,67	101,51	100,54	100,85	100,97	2,90	3,58	358,60
59	2270,00	33,78	34,39	34,19	34,12	99,48	99,93	100,60	100,00	2,80	3,61	361,50
60	2300,00	32,23	33,63	36,70	34,19	99,45	99,34	97,20	98,66	3,40	4,38	438,27
61	2340,00	36,01	35,58	35,65	35,75	99,01	100,14	100,66	99,94	3,25	3,88	388,78
62	2360,00	36,43	34,55	32,29	34,42	99,60	102,10	100,17	100,62	3,30	4,03	403,69
63	2320,00	31,81	35,04	34,04	33,63	101,17	100,57	99,54	100,43	2,60	3,31	331,83
64	2310,00	34,55	34,86	34,64	34,68	99,98	100,93	100,46	100,46	3,75	4,65	465,93
65	2310,00	35,53	35,72	35,09	35,45	103,27	105,07	104,85	104,40	3,20	3,74	374,35
66	2290,00	34,52	35,27	34,00	34,60	103,07	102,24	101,42	102,24	2,60	3,20	320,97
67	2340,00	32,85	35,69	33,98	34,17	101,15	101,17	100,69	101,00	2,80	3,46	346,67
68	2350,00	34,92	35,14	34,44	34,83	101,52	102,45	100,72	101,56	3,15	3,78	378,89
69	2290,00	34,08	34,46	33,43	33,99	100,19	101,41	100,00	100,53	2,40	3,06	306,70
70	2280,00	31,72	34,99	33,17	33,29	100,90	100,53	99,54	100,32	2,10	2,75	275,76
71	2300,00	33,08	33,13	32,67	32,96	102,30	101,68	101,88	101,95	1,90	2,45	245,83
72	2340,00	32,78	34,70	34,84	34,11	101,47	101,32	101,33	101,37	3,05	3,76	376,98
73	1910,00	33,44	34,29	33,38	33,70	98,90	98,85	99,20	98,98	2,20	3,45	345,27
74	2350,00	34,35	33,27	34,53	34,05	100,61	100,20	99,33	100,05	3,05	3,80	380,99
75	2290,00	33,81	34,15	33,35	33,77	100,50	101,32	99,33	100,38	3,50	4,50	450,86
76	2320,00	34,13	34,64	32,34	33,70	100,87	100,57	99,06	100,17	2,40	3,06	306,43
77	2300,00	33,59	34,27	33,52	33,79	99,25	99,50	98,88	99,21	3,25	4,21	421,47
78	2300,00	34,53	35,80	35,58	35,30	95,10	97,22	95,72	96,01	3,45	4,42	442,53
79	2340,00	35,83	32,80	35,17	34,60	96,32	98,82	99,00	98,05	2,65	3,33	333,83
80	2340,00	35,11	35,12	32,24	34,16	100,73	100,40	100,57	100,57	3,00	3,73	373,23
81	2300,00	33,52	34,91	36,30	34,91	98,82	100,05	99,38	99,42	3,50	4,38	438,46
82	2320,00	33,79	34,94	35,22	34,65	101,38	102,65	101,87	101,97	2,45	2,98	298,89
83	2280,00	34,54	34,17	34,97	34,56	97,45	99,65	98,20	98,43	3,10	3,99	399,68
84	2340,00	33,48	33,72	36,13	34,44	101,57	100,86	99,19	100,54	3,05	3,76	376,39

85	2310,00	34,73	34,32	34,81	34,62	100,08	99,76	99,57	99,80	2,80	3,50	350,81
86	2300,00	34,72	33,49	32,47	33,56	99,11	97,35	96,35	97,60	3,45	4,57	457,94
87	2280,00	35,29	35,67	32,99	34,65	99,33	99,94	100,67	99,98	2,20	2,78	278,53
88	2340,00	33,16	34,63	34,20	34,00	150,36	147,66	144,87	147,63	4,50	3,83	383,16
89	2310,00	35,60	36,15	36,24	36,00	150,27	151,39	150,37	150,68	4,80	3,83	383,11
90	2290,00	34,46	34,85	31,00	33,44	148,20	148,76	148,92	148,63	4,20	3,69	369,06
91	2350,00	33,75	34,05	34,10	33,97	150,56	149,42	146,36	148,78	4,10	3,45	345,24
92	2290,00	33,62	34,63	35,23	34,49	160,01	147,24	147,69	151,65	5,95	4,96	496,72
93	2310,00	31,82	31,88	31,52	31,74	148,82	147,19	144,64	146,88	4,25	3,94	394,64
94	2300,00	35,36	34,90	35,12	35,13	142,82	149,75	144,82	145,80	4,10	3,48	348,07
95	2360,00	34,65	36,12	37,18	35,98	147,55	154,51	165,54	155,87	4,85	3,66	366,42
96	2300,00	35,12	36,00	34,74	35,29	154,82	150,57	152,27	152,55	4,75	3,83	383,65
97	2290,00	33,65	34,40	35,05	34,37	148,03	150,20	150,72	149,65	3,30	2,80	280,20
98	2310,00	38,40	36,07	33,35	35,94	145,22	145,22	144,00	144,81	5,00	4,15	415,88
99	2330,00	35,42	33,85	33,94	34,40	149,92	150,10	150,36	150,13	4,35	3,61	361,47
100	2310,00	35,30	32,08	34,64	34,01	152,95	148,68	148,41	150,01	4,10	3,47	347,92
101	2330,00	33,53	35,17	34,43	34,38	146,20	152,59	148,19	148,99	3,90	3,26	326,80
102	2060,00	33,84	35,93	35,56	35,11	149,85	151,37	148,31	149,84	4,20	3,87	387,54
103	2350,00	24,45	33,58	32,52	30,18	144,79	145,49	147,07	145,78	4,05	3,91	391,66
104	2340,00	34,08	34,17	34,40	34,22	141,72	144,14	145,14	143,67	5,53	4,80	480,75
105	2350,00	33,97	34,36	34,51	34,28	149,00	148,45	150,15	149,20	3,90	3,24	324,48
106	2300,00	35,28	35,10	35,07	35,15	146,86	148,46	148,04	147,79	4,90	4,10	410,12
107	2310,00	33,80	32,21	34,63	33,55	148,75	147,36	152,38	149,50	4,60	3,97	397,07
108	1920,00	34,71	34,09	33,83	34,21	149,00	150,29	150,00	149,76	2,80	2,84	284,64
109	2370,00	33,77	35,82	38,07	35,89	144,73	149,08	150,66	148,16	5,35	4,24	424,57
110	2320,00	33,34	34,78	34,88	34,33	151,36	150,20	148,96	150,17	3,55	2,96	296,78
111	2030,00	34,55	34,82	33,92	34,43	149,47	151,50	149,34	150,10	3,90	3,71	371,74
112	2270,00	34,77	34,88	36,79	35,48	148,96	147,93	146,72	147,87	4,95	4,15	415,64
113	2320,00	32,37	35,72	34,60	34,23	148,45	147,26	145,13	146,95	4,40	3,77	377,05
114	2310,00	37,18	35,02	33,22	35,14	148,01	147,03	147,43	147,49	4,75	3,96	396,75

115	2330,00	35,25	34,43	33,33	34,34	146,66	148,26	143,00	145,97	5,25	4,49	449,54
116	2130,00	34,02	34,73	34,29	34,35	146,27	150,40	150,00	148,89	3,10	2,84	284,60
117	2320,00	34,84	33,36	34,72	34,31	149,80	148,47	148,48	148,92	2,95	2,48	248,89
118	2350,00	37,38	34,41	30,10	33,96	144,07	145,03	146,66	145,25	4,85	4,18	418,35
119	2310,00	35,36	34,52	34,33	34,74	146,26	147,36	137,30	143,64	4,90	4,25	425,13
120	2340,00	31,71	34,25	34,69	33,55	149,92	148,37	147,68	148,66	5,05	4,32	432,71
121	2360,00	33,05	35,04	34,52	34,20	147,15	152,36	156,00	151,84	5,00	4,07	407,96
122	2350,00	36,18	35,99	32,90	35,02	144,80	147,33	145,66	145,93	5,05	4,20	420,46
123	2330,00	35,07	33,27	34,80	34,38	147,60	149,24	148,64	148,49	3,20	2,69	269,02
124	2340,00	35,41	34,30	34,91	34,87	145,82	147,13	146,45	146,47	5,15	4,30	430,88
125	2330,00	35,69	34,22	35,20	35,04	145,65	146,17	147,62	146,48	3,95	3,30	330,32
126	2320,00	34,72	32,81	31,91	33,15	148,75	149,12	147,93	148,60	5,30	4,63	463,80
127	2300,00	35,80	36,10	36,60	36,17	156,23	155,43	155,09	155,58	6,45	4,98	498,38
128	2290,00	33,48	32,44	29,01	31,64	147,42	150,53	149,82	149,26	4,60	4,25	425,31
129	2300,00	33,33	34,24	33,92	33,83	149,93	152,72	151,58	151,41	4,50	3,81	381,97
130	2330,00	29,36	34,89	33,51	32,59	146,79	148,20	147,27	147,42	4,55	4,06	406,50
131	2320,00	34,87	33,18	34,99	34,35	147,53	147,46	149,41	148,13	3,40	2,88	288,04
132	2030,00	33,40	34,23	34,76	34,13	146,96	148,86	148,05	147,96	4,20	4,09	409,72
133	2330,00	35,20	33,62	31,91	33,58	147,98	146,73	147,37	147,36	6,10	5,29	529,12
134	2360,00	35,55	34,70	35,35	35,20	147,60	146,31	147,10	147,00	4,30	3,52	352,12
135	2300,00	33,93	32,61	32,61	33,05	147,66	147,37	148,18	147,74	3,35	2,98	298,30
136	2320,00	36,20	35,87	35,42	35,83	148,90	146,64	147,32	147,62	4,25	3,46	346,35
137	2290,00	35,16	32,16	33,27	33,53	148,54	149,41	148,01	148,65	4,70	4,11	411,77
138	2340,00	33,00	33,75	29,38	32,04	142,66	142,63	140,44	141,91	4,50	4,22	422,91
139	2270,00	33,33	32,82	31,56	32,57	145,95	147,20	147,38	146,84	4,45	4,09	409,89
140	2330,00	34,63	33,55	34,60	34,26	144,97	149,39	149,66	148,01	3,55	3,00	300,47
141	2270,00	35,93	35,18	33,25	34,79	149,19	147,44	147,27	147,97	4,50	3,85	385,13
142	2290,00	34,90	34,57	34,54	34,67	146,66	149,69	149,39	148,58	4,95	4,19	419,62
143	2310,00	34,22	31,54	34,80	33,52	146,49	146,99	147,67	147,05	3,65	3,20	320,56
144	2360,00	34,60	34,72	34,63	34,65	147,03	142,32	147,79	145,71	5,50	4,61	461,58

145	2360,00	34,46	34,00	34,25	34,24	147,62	147,50	146,90	147,34	4,90	4,11	411,60
146	2330,00	33,90	33,16	31,63	32,90	149,08	150,32	150,74	150,05	4,10	3,56	356,49
147	2290,00	34,64	34,27	33,69	34,20	150,73	149,48	150,74	150,32	4,35	3,69	369,51
148	2370,00	32,70	35,59	34,00	34,10	149,01	148,89	145,82	147,91	4,70	3,93	393,23
149	2300,00	32,60	29,19	28,74	30,18	150,21	148,89	148,46	149,19	5,10	4,92	492,54
150	2310,00	34,19	34,03	34,91	34,38	144,93	150,25	149,39	148,19	4,85	4,12	412,14
151	2350,00	34,20	34,20	33,91	34,10	147,26	151,53	148,02	148,94	3,55	2,97	297,41
152	2350,00	33,52	34,04	32,88	33,48	147,06	150,18	146,07	147,77	3,50	3,01	301,04
153	2320,00	32,66	35,36	35,27	34,43	148,00	147,47	145,59	147,02	5,20	4,42	442,79
154	2320,00	33,41	34,43	34,46	34,10	147,42	149,60	149,48	148,83	3,30	2,80	280,27
155	2310,00	34,55	34,29	34,90	34,58	148,45	151,29	149,02	149,59	3,90	3,26	326,39
156	2280,00	34,12	33,71	31,32	33,05	148,17	146,98	147,08	147,41	3,50	3,15	315,09
157	2320,00	33,39	35,13	34,82	34,45	148,00	149,86	148,26	148,71	3,30	2,77	277,68
158	2320,00	34,53	34,16	34,15	34,28	149,02	148,87	146,33	148,07	3,75	3,18	318,44
159	2020,00	32,38	34,20	33,15	33,24	146,02	146,37	145,50	145,96	3,65	3,72	372,39
160	1830,00	32,63	33,41	31,90	32,65	148,26	147,35	146,96	147,52	3,85	4,36	436,83
161	1920,00	33,88	33,77	34,31	33,99	149,08	150,01	149,31	149,47	3,50	3,58	358,85
162	1830,00	34,30	34,56	34,23	34,36	147,57	148,96	148,58	148,37	3,85	4,12	412,64
163	1830,00	36,18	35,97	36,01	36,05	150,43	149,99	149,97	150,13	4,35	4,39	439,16
164	2355,00	34,44	33,86	32,72	33,67	145,63	145,64	146,55	145,94	4,65	4,01	401,79
165	2340,00	33,89	33,98	33,64	33,84	135,81	139,02	141,32	138,72	5,10	4,64	464,34
166	2290,00	34,74	34,90	34,87	34,84	146,22	146,63	145,05	145,97	5,00	4,29	429,38
167	2290,00	34,60	34,06	35,41	34,69	147,74	148,77	148,35	148,29	4,70	3,98	398,98
168	2340,00	33,71	33,23	31,20	32,71	149,05	147,68	144,95	147,23	4,40	3,90	390,41
169	2280,00	32,33	33,60	34,03	33,32	149,01	148,95	147,17	148,38	3,60	3,19	319,37
170	2290,00	33,98	35,86	37,61	35,82	148,21	148,18	148,24	148,21	5,20	4,27	427,76
171	2300,00	34,82	34,09	33,27	34,06	148,92	150,67	151,21	150,27	4,40	3,73	373,78
172	2360,00	34,80	35,04	34,82	34,89	145,66	149,04	146,96	147,22	4,25	3,50	350,63
173	2120,00	33,51	33,95	34,57	34,01	150,46	148,31	147,84	148,87	2,55	2,37	237,57
174	2330,00	31,66	32,79	35,32	33,26	149,18	150,08	149,08	149,45	5,10	4,40	440,40

175	2370,00	33,61	34,40	34,65	34,22	146,51	150,01	149,20	148,57	4,40	3,65	365,16
176	2360,00	33,95	34,82	34,60	34,46	147,80	145,80	140,50	144,70	4,60	3,90	390,93
177	2360,00	32,24	36,36	37,73	35,44	147,03	145,94	145,64	146,20	5,25	4,29	429,29
178	2290,00	34,13	34,73	34,19	34,35	150,98	150,36	149,45	150,26	4,10	3,46	346,87
179	2340,00	34,72	35,42	34,84	34,99	144,52	148,12	148,86	147,17	4,55	3,77	377,57
180	2290,00	34,70	33,40	34,20	34,10	149,28	150,89	148,67	149,61	4,55	3,89	389,45
181	2280,00	28,96	32,95	33,49	31,80	147,94	146,27	144,75	146,32	3,75	3,53	353,48
182	2300,00	34,07	34,44	34,31	34,27	149,53	150,12	148,64	149,43	4,60	3,90	390,51
183	2340,00	34,97	34,75	31,58	33,77	147,66	147,60	146,17	147,14	4,90	4,21	421,46
184	2340,00	37,80	33,44	32,23	34,49	145,85	147,42	147,07	146,78	5,30	4,47	447,40
185	2330,00	33,01	32,31	34,46	33,26	146,21	146,80	148,05	147,02	3,55	3,11	311,58
186	2280,00	34,85	36,36	35,94	35,72	151,70	149,92	147,65	149,76	4,30	3,52	352,60
187	2320,00	35,55	35,35	33,86	34,92	146,86	149,17	149,08	148,37	5,70	4,74	474,21
188	2310,00	34,46	34,97	34,85	34,76	146,59	146,76	147,56	146,97	4,55	3,85	385,56
189	1920,00	36,50	34,48	34,65	35,21	150,68	148,83	146,50	148,67	3,85	3,83	383,06

Apêndice 2

Descrição da constituição das vigas em função do Módulo de elasticidade das lamelas.

Os módulos de elasticidade (MOE) de todas as lamelas utilizadas para confecção das vigas foram determinados por meio do ensaio de flexão estática. As Tabelas de A1 a A3 apresentam os valores de MOE das lamelas utilizadas na confecção das vigas coladas, assim como a composição das vigas, associados aos valores de MOE dessas lamelas, para cada adesivo.

Tabela A2.1 - Descrição das Lamelas que compõem as vigas coladas com o adesivo Cascophen e seus respectivos valores de MOE.

Vigas	Lamela 1	MOE (MPa)	Lamela 2	MOE (MPa)	Lamela 3	MOE (MPa)
C1	84	16578	82	7070	74	9406
C2	86	15019	3	7067	61	9301
C3	34	13932	4	7038	68	8960
C4	31	11623	44	6951	30	8816
C5	23	11499	59	6858	45	8737
C6	41	11230	18	6846	15	8714
C7	64	10833	87	6835	25	8555
C8	62	10763	53	6825	11	8544
C9	7	10733	10	6793	9	8459
C10	104	14200	134	7425	114	9231
C11	181	13027	188	7355	180	9184
C12	168	12856	155	7340	156	9123
C13	128	12492	145	7274	170	9115
C14	164	12394	112	7139	167	9001
C15	139	12391	178	7062	147	8961
C16	138	12212	172	7004	106	8682
C17	165	11850	143	6917	174	8415
C18	115	11525	98	6908	146	8345

Tabela A2.2 descrição das Lamelas que compõem as vigas coladas com o madesivo

Melamina e seus respectivos valores de MOE.

Vigas	Lamela 1	MOE (MPa)	Lamela 2	MOE (MPa)	Lamela 3	MOE(MPa)
M1	80	9948	85	7518	42	6080
M2	38	9846	65	7480	22	5805
M3	77	9814	79	7385	28	5519
M4	29	9743	16	7513	5	5511
M5	12	9715	70	7358	17	5349
M6	83	9694	40	7291	24	5325
M7	72	9676	66	7284	2	4447
M8	6	9854	50	7145	27	4237
M9	78	10050	26	7137	52	6093
M10	142	10153	176	7815	140	6149
M11	127	10095	186	7812	135	6130
M12	150	10056	183	7729	131	6097
M13	149	9968	148	7468	151	5929
M14	177	9912	95	7587	187	9465
M15	118	9575	136	7445	123	5643
M16	88	9498	98	7443	117	5586
M17	182	9704	121	8408	131	6097
M18	137	9723	152	6057	113	8947

Tabela A2.3 descrição das Lamelas que compõem as vigas coladas com o adesivo Purbond e seus respectivos valores de MOE.

Viga Estreita	Lamela 1	MOE (MPa)	Lamela 2	MOE (MPa)	Lamela 3	MOE (MPa)
P1	57	10541	71	8448	32	6750
P2	14	10417	21	8370	47	6744
P3	48	10409	51	8349	56	6726
P4	19	10375	55	8138	8	6681
P5	60	10366	67	8110	1	6601
P6	35	10301	49	7937	69	6572
P7	58	10220	63	7925	39	6246
P8	75	10188	43	7885	46	6183
P9	37	10095	13	7879	33	6125
P10	141	11088	184	8309	185	6868
P11	124	10964	179	8272	166	6850
P12	120	10919	144	8254	94	6807
P13	133	10853	92	8208	175	6751
P14	103	10730	126	8090	158	6630
P15	130	10681	101	7866	122	6629
P16	153	10613	125	7942	110	6507
P17	90	10507	171	7941	100	6297
P18	93	10337	107	7899	109	6282