

Análise de desempenho de vigas em madeira laminada colada de parica (*Schizolobium Amazonicum* Huber ex. Ducke)

Analysis of glued laminated beams performance of parica species (*Schizolobium Amazonicum* Huber ex. Ducke)

Rodrigo Figueiredo Terezo¹ e Carlos Alberto Szücs²

Resumo

Devido a pressões mundiais para a preservação da Floresta Amazônica, as florestas plantadas com espécies nativas estão em crescimento na região norte do Brasil e tornaram-se uma opção economicamente viável. Dentre as diversas espécies plantadas, o parica (*Schizolobium Amazonicum* Huber ex. Ducke) é considerado como uma das espécies pioneiras. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo analisar o desempenho de vigas estruturais em madeira laminada colada (MLC) com esta espécie, empregando-se os adesivos a base de Resorcinol-Formaldeído e de Emulsão Polimerizada com Isocianato comercializados no Brasil. As peças foram classificadas por ensaios dinâmicos (ultrassom) sendo utilizadas as lâminas de maior módulo de elasticidade dinâmico, no terço superior e inferior das vigas. Foram selecionadas também, aleatoriamente, peças maciças serradas para a comparação dos desempenhos. Os testes de resistência foram à flexão a quatro pontos, sendo também verificadas as resistências ao cisalhamento e à tração normal das linhas de colagem. Verificou-se, com 95% de confiabilidade, que todas as vigas possuem desempenhos equivalentes. Os valores de ruptura de cisalhamento das vigas foram menores do que os das linhas de colagem (adesivo resorcinol-formol de 2,97 MPa e adesivo isocianato de 2,91 MPa). Com base nesses valores pode-se 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.

Palavras-Chave: Parica, Vigas, Madeira laminada colada.

Abstract

In response to the great world-wide pressure to preserve the Amazon Forest, native species planted forests are growing and becoming economically viable in the northern region of Brazil. Amongst the diverse planted species, parica (*Schizolobium Amazonicum* Huber ex. Ducke) is considered as a pioneer species. The main objective of this paper was to study the glued laminated timber (GLT) beams performance within this species; using adhesives of Resorcinol Formal-dehyde and Emulsion Polymerized isocyanate commercialized in Brazil. The pieces were graded by non-destructive test (ultra-sound) the laminated board with larger dynamic modules of elasticity being used, on the upper third face and lower third face of the beams. Timber beams of parica were selected randomly for comparing the performances. The strength tests were four-point bending, verifying the shear and tension strenght of the glue lines, too. It was verified, with 95% of confidence, that all beams have the same performance. The shear rupture values were smaller than the glue lines strength (resorcinol-formaldehyde adhesive by 2,97 MPa and isocyanate by 2,91 MPa). Based on these values, it is possible to recommend this species for producing GLT beams with C-20 strength class design as having a compatible performance to timber beams.

Keywords: Parica, Beams, Glued Laminated Beams.

INTRODUÇÃO

Dentre vários produtos duráveis de madeira, a madeira laminada colada (MLC) merece destaque, uma vez que são empregadas peças de pequenas dimensões, que coladas umas

as outras, obtêm-se elementos de grandes dimensões. Por muitos anos, os produtos compostos por laminados de madeira têm sido praticados com um elevado controle de suas propriedades. Eles têm recebido um aumento contínuo de utilização em estruturas de en-

¹Professor Doutor do Instituto Federal Catarinense - IFC. Campus Rio do Sul, Estrada do Canta Galo, 5665 - Rio do Sul, SC - 88160-000 - E-mail : rodrigo@ifc-riodosul.edu.br

²Professor Doutor da Universidade Federal de Santa Catarina e Coordenador do Grupo Interdisciplinar de Estudos da Madeira - GIEM/UFSC. Campus Universitário Trindade - Caixa Postal 476 - Florianópolis, SC - 88040-970 - E-mail : casuzcs@gmail.com

genharia na Europa, Japão e Estados Unidos (BODIG e JAYENE, 1982).

Atualmente, as peças estruturais em MLC são, em sua maioria, produzidas com madeira de floresta plantada, principalmente com a madeira de *Pinus* spp, que é abundante nos países do hemisfério norte, berço da MLC (SZÜCS, 2006). No Brasil, além da produção com *Pinus* spp, também são confeccionadas vigas em MLC com madeiras de eucalipto. Ambas provenientes de florestas plantadas, porém são espécies exóticas que não pertencem à flora nativa brasileira.

Apesar da Amazônia ainda não ter tradição no cultivo de florestas de espécies nativas, a floresta plantada vem ganhando espaço, sendo uma das soluções para a recuperação de áreas degradadas com espécies de rápido crescimento. Esta atividade vem se apresentando como excelente alternativa de produção e comercialização de madeira nos últimos vinte anos (TEREZO *et al*, 2006).

Dentre as espécies nativas plantadas, merece destaque o parica (*Schizolobium Amazonicum* Huber ex. Ducke) que devido ao seu rápido desenvolvimento e alta produtividade de volume de madeira por hectare (30 a 35 m³/ha/ano) tem sido plantado em larga escala nos estados do Pará e Mato Grosso (TEREZO, 2010).

De acordo com Coradin e Muniz (1991), analisando madeira de árvores nativas, descreve esta espécie como pertencente à família *Leguminosae* e sub-família *Caesalpinioideae* com cerne e alburno pouco indistintos, de cor branca e anéis de crescimento indistintos. Sua grã foi considerada ondulada, textura média e com brilho acentuado. Seu cheiro é imperceptível e macia quanto ao corte transversal manual. Sua densidade aparente é de 0,49 g/cm³. Esta madeira é comumente conhecida também como pinho cuiabano.

A literatura revela que o parica possui um grande potencial para o uso em MLC, pois para Macedo (2000) o processo de produção de MLC permite o emprego, no âmbito estrutural, de madeiras de baixa e média densidade. Segundo Szücs (1992) as espécies mais aconselhadas para o emprego em MLC são as das coníferas com massa volumétrica entre 0,40 e 0,75 g/cm³. No entanto, as dicotiledôneas de baixa massa volumétrica também podem ser consideradas para a aplicação em MLC, pois são facilmente coláveis. Dentre os adesivos mais aplicados em viga MLC no Brasil, merece destaque o Resorcinol-Formaldeído que consiste numa solução recomendada para colagens resistentes à água fria ou fervente e à exposição temporária ou intermitente a intem-

péries. Porém, é um adesivo classificado como tóxico, sendo necessário cuidado em seu manuseio. Já o adesivo de Emulsão Polimerizada com Isocianato, apesar de emitir gás carbônico durante seu processo de cura, não necessita de solventes e pode ser aplicado diretamente de sua embalagem na madeira, minimizando um contato maior com o produto e, portanto, menos tóxico e danoso (BAYER, 2010 e HEXION, 2008).

Entretanto, Bodig e Jayne (1982) relatam que para um melhor desempenho de vigas em MLC, é necessária a classificação prévia das lâminas que irão compor as vigas. Essa classificação deverá levar em conta a resistência mecânica (módulo de elasticidade) e os defeitos (nós, rachaduras, brocas entre outros), sendo as melhores lâminas posicionadas no terço superior e inferior das vigas (região de maior esforço) e as de menor qualidade no terço interior das vigas.

Dentre os métodos de classificação mais utilizados por empresas e laboratórios de pesquisa merecem destaque: (1) flexão estática; (2) "Machine Stress Rating" – MSR; (3) ondas de baixa frequência; e (4) ultrassom.

O método (1) consiste num ensaio estático de flexão com carga concentrada aplicada no meio do vão, entre dois apoios simples, e a medida do deslocamento também é realizada no meio do vão (MATTHIESEN e GÓES, 2000). O método (2) a deflexão é determinada por meio de um carregamento leve, geralmente aplicado por cilindro de pressão acoplado a uma célula de carga, sendo a deformação medida por um sensor. Tudo é computado e então, o módulo de elasticidade aproximado da peça é estimado (TEREZO, 2004 e MACHADO, 2004). Já o método (3) é mais usado em madeiras e compósitos de madeira. Este tipo de onda é gerado através de um impacto ou por uma força de vibração. Bodig (2000) explica que existem duas maneiras de mensuração: uma utilizando a velocidade do som e outra pelo espectro de vibração. No método (4) são utilizadas ondas de alta frequência, as quais são empregadas com eficiência em processos de controle de qualidade na produção de laminados e compósitos, permitindo assim, uma classificação desses produtos. Atualmente, a NBR - 15.521/2007 (ABNT, 2007) é a norma que regulamenta a utilização deste método para a classificação de madeiras de folhosas quanto as suas propriedades mecânicas.

Atualmente, está em processo de revisão os itens referentes a MLC da NBR - 7190/97 (ABNT, 1997). Nela serão definidas, com mais detalhes,

regras para a elaboração de vigas em MLC, exigindo o emprego da classificação visual e mecânica.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi subdividida em quatro etapas: (1) elaboração do experimento; (2) confecção das vigas em MLC; (3) ensaio de resistência à flexão das vigas em MLC; e (4) ensaio de resistência da linha de cola.

A pesquisa procurou, além de empregar a espécie parica em vigas de MLC, analisar também o desempenho de dois adesivos, para madeira, comercializados no Brasil.

Elaboração do experimento

Para que fossem pesquisados os desempenhos das vigas em MLC de parica e dos dois adesivos para madeira, foram confeccionadas 18 vigas em MLC, sendo 9 vigas com cada adesivo.

Os adesivos utilizados foram: (1) o bi-componente Wonderbond® EPI EL-70 juntamente com o endurecedor Wonderbond® EPI WS 742; e (2) o bi-componente Cascophen® RS-216-M, com o endurecedor Cascophen® FM-60-M. Ambos são pertencentes e comercializados pela empresa Hexion.

O primeiro adesivo é uma Emulsão Polimérica de Isocianato (EPI) e foi gentilmente doada pela empresa Refloreste e o segundo adesivo feito a base de Resorcinol-Formol foi doada pela empresa Hexion do Brasil. A mistura foi de 100 partes de cola e 20 partes de endurecedor. A gramatura utilizada foi de 300 g/m². O tempo de montagem das lâminas foi de 15 minutos e de prensagem foi de 48 horas.

As peças de madeira empregadas para a confecção das vigas em MLC pertenciam a lotes de madeiras com idades de 19 e 28 anos. Essas peças foram classificadas visualmente como de pri-

meira categoria e, portanto, isenta de defeitos.

As peças selecionadas foram também classificadas mecanicamente por método dinâmico de alta frequência (ultrassom) através do equipamento Silvatest®. Este equipamento determina o tempo gasto por uma onda ultrassônica ao percorrer uma peça de madeira. Esta onda é emitida e captada pelo próprio equipamento (Figura 1). Em seguida é calculada a velocidade de propagação da onda, através da divisão entre o valor da distância percorrida pelo tempo de propagação. Também foi determinada a densidade de cada lote de madeira e o teor de umidade de cada prancha. Estes valores servem de base para o cálculo estimado do módulo de elasticidade dinâmico (E_D) da prancha. A equação 1 determina a velocidade de propagação da onda, em condição saturada, a qual é relacionada com o E_D tabelado pela norma brasileira de ensaios dinâmicos para madeiras NBR - 15.521/2007.

$$V_{LL\text{SATURADA}} = -1745 + V_{LL} + 16xU + \rho_{ap} \quad (1)$$

Onde VLL saturada = velocidade na peça saturada com umidade acima de 30% (m/s); VLL = velocidade na peça com umidade entre 12% e 30% (m/s); U = umidade da madeira (%); ρ_{ap} densidade aparente da madeira (kg/m³).

As peças selecionadas com o melhor desempenho foram denominadas classe F ($E_D = 15.000$ MPa) e as peças de menor desempenho foram denominadas classe I ($E_D = 8.000$ MPa). Tanto as classes, como a metodologia de classificação foram realizadas conforme NBR - 15.521/2007.

Também foram selecionados, de maneira aleatória e ao acaso, 7 peças de madeira dos mesmos lotes. Dessas peças foram confeccionadas 7 vigas serradas com dimensões de 6 cm x 12 cm x 250 cm, que serviram de base para a comparação do desempenho das vigas em MLC.



Figura 1. Testes para classificação mecânica da madeira de parica: (a) ultrassom e (b) teor de umidade.
Figure 1. Tests for mechanical parica timber classification: (a) ultra-sound and (b) moisture content.

Confeção das vigas em MLC

As pranchas de menor módulo de elasticidade receberam uma pintura verde no topo para que as lâminas retiradas dessas pranchas pudessem ser identificadas após sua confecção. Baseada nas recomendações de Szücs (1992), cada lâmina tinha uma espessura de 2 cm e 6,5 cm de largura e todas foram produzidas na carpintaria do Grupo Interdisciplinar de Estudos da Madeira - GIEM na Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC.

Quatro lâminas de maior módulo de elasticidade (Classe F) foram posicionadas nas faces externas da viga em MLC, sendo duas na parte superior e duas na parte inferior. Outras duas lâminas de menor qualidade (Classe I) mecânica foram posicionadas no meio da VLC. A geometria final da viga em MLC era de 6,5x12x250cm (Figura 2 b).

Nas vigas em MLC não foram utilizadas emendas dentadas para a união de lâminas, uma vez que as peças de madeira foram classificadas como de primeira categoria. Neste caso, as emendas dentadas não seriam úteis para a remoção de defeitos, como nós, e sim para somente se obter vigas com maior comprimento.

A Norma Alemã DIN 68-140 descreve que ao serem empregadas emendas dentadas em lâmi-

nas que serão submetidas à elevados graus de esforços (elementos estruturais de grande porte), admite-se uma perda de resistência de 18%, devido ao grau de enfraquecimento que esse modelo de emenda promove em vigas de MLC.

Todas as lâminas foram transportadas para a empresa Refloreste em Florianópolis/SC para a fabricação das vigas em MLC. Após a aplicação das colas sobre as lâminas, estas foram posicionadas dentro da prensa, sendo respeitada a ordem de colocação das lâminas de maior e menor elasticidade. A prensagem foi realizada de forma manual por meio de tornos espaçados a cada 20 cm (Figura 2 a).

Depois de dois dias fora da prensa, as vigas em MLC foram aplainadas nas faces laterais e destopadas, com dimensões finais de 6x12x240cm.

Ensaio de resistência à flexão estática

O ensaio de flexão adotado foi baseado nos critérios de avaliação de vigas estruturais sugerido por Santos Neto, Grohmann e Szücs (1998). Esta avaliação é feita através do ensaio de flexão "a quatro pontos", onde o carregamento aplicado é dividido em dois pontos sobre a viga. Estes critérios foram definidos segundo a Norma Americana ASTM-198/84 (ASTM, 1984), (Figura 4).

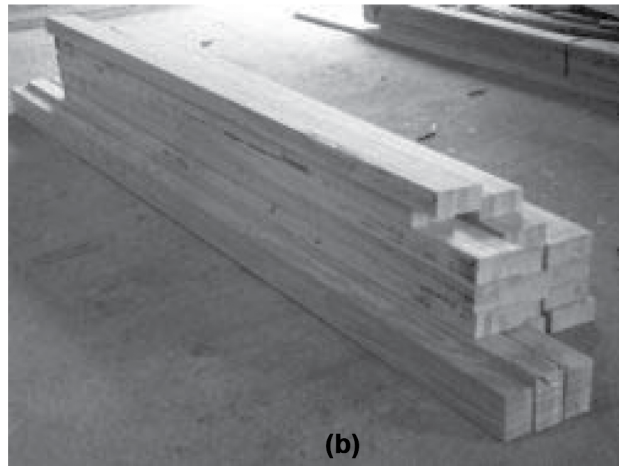
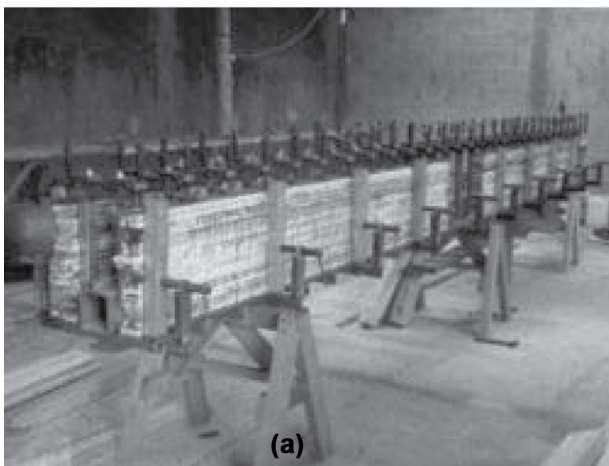


Figura 2. Prensagem das vigas em MLC: (a) pressão manual e (b) aspecto final das vigas.

Figure 2. Glued laminated timber (GLT) beams pressing: (a) manual pressure and (b) glued beams final appearance.

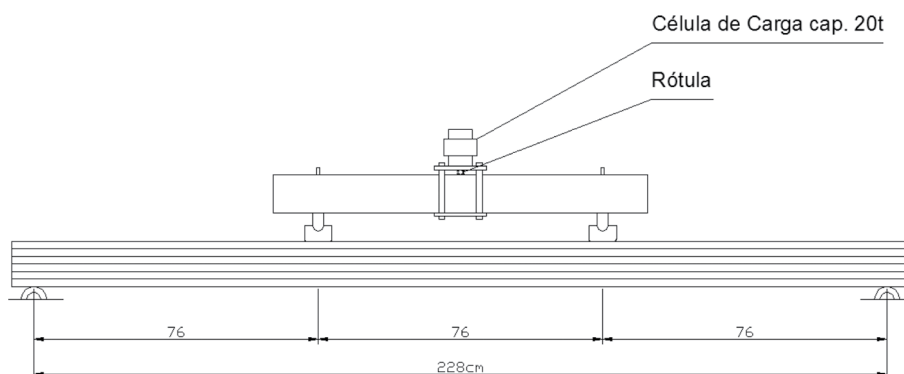


Figura 3. Desenho esquemático do sistema de teste de flexão a quatro pontos para as vigas MLC.

Figure 3. Layout of test system for the four-point bending beams for GLT.

O sistema de teste foi montado sob uma laje de reação de 10x10m. Os elementos do sistema de teste (Figura 6a) foram: pórtico de reação em aço, atuador hidráulico com capacidade de 20t e sistema elétrico de pressão de óleo, sistema de distribuição de carga para dois pontos rotulado, célula de carga com capacidade de 20t, transdutores de deslocamento e equipamento de aquisição de dados.

Entre os dois pontos de aplicação do carregamento, foram posicionados os transdutores de deslocamento (Figura 6b).

Foram testadas 7 vigas de cada tratamento (vigas MLC com cola EPI, vigas MLC com cola RS e vigas de madeira serrada de parica). Dois ensaios de vigas MLC com cola EPI foram descartados. Após a ruptura da viga verificou-se que houve falha na colagem de uma das lâminas e em outra viga houve perda de aquisição dos dados durante o ensaio. Das 7 vigas de madeira serrada, uma foi utilizada para determinar os patamares do ciclo de carga e descarga para o ensaio das outras seis vigas.

Ensaio de resistência da linha de colagem

Os ensaios empregados para a avaliação do desempenho das linhas de colagem foram os de tração normal e de cisalhamento. Os ensaios seguiram as recomendações do Anexo B da NBR - 7190/97, porém o corpo de prova de cisalhamento foi adaptado da norma francesa NF B 5-32 (AFN, 1942).

Os 7 corpos de prova foram retirados de 4 vigas não ensaiadas, sendo duas com cola EPI EL-70 e duas com cola RS 216-M. O procedimento de confecção e ensaio dos corpos de prova foram realizados conforme recomendações descritas no trabalho de Szücs, Bohn e Valle (1998). Foram descartadas as extremidades das vigas em MLC, evitando-se possíveis defeitos de colagem, sendo os corpos de prova extraídos em linhas de colagem alternadas para assegurar uma maior variabilidade de desempenho (Figura 5).

A Figura 6 mostra as dimensões e a disposição das linhas de colagem nos corpos de prova de cisalhamento e tração normal.

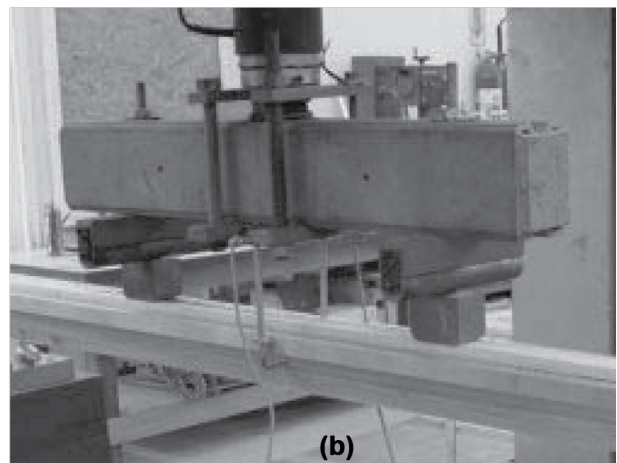
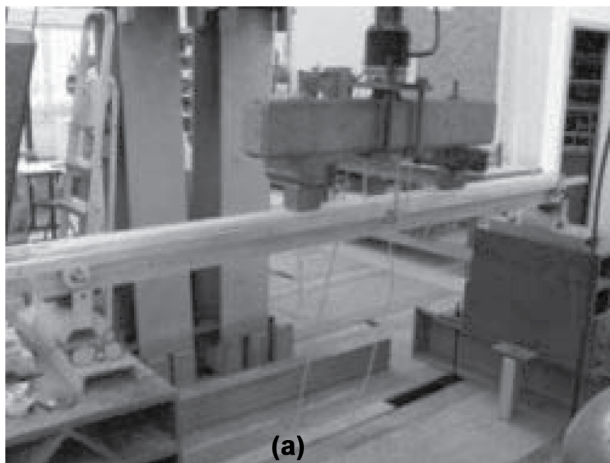


Figura 4. Teste de flexão estática das vigas MLC: (a) esquema de ensaio a quatro pontos; (b) e posicionamento dos transdutores de deslocamento entre os pontos de aplicação de carga.

Figure 4. GLT static beams bending test: (a) test scheme to four points, (b) and positioning of the transducers of displacement between the points of load application.

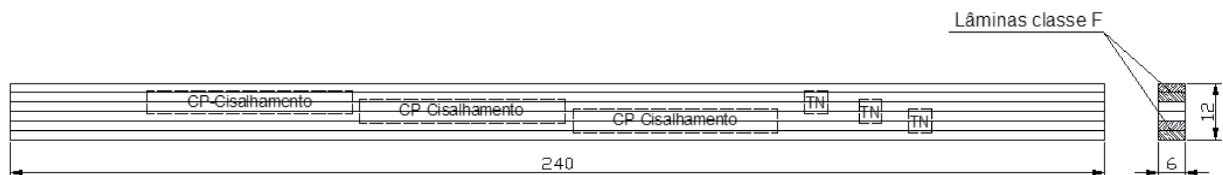


Figura 5. Desenho esquemático da posição de retirada dos corpos de prova (CP) de cisalhamento e tração normal (TN).

Figure 5. Layout of the withdrawal position of the shear and normal traction samples.

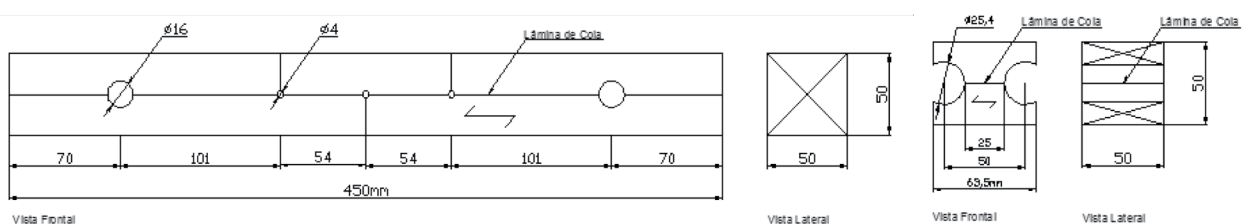


Figura 6. Corpos de prova de tração normal à linha de cola e de cisalhamento paralelo à linha de cola.

Figure 6. Samples of traction normal to the glue line and parallel shear of the glue line.

Os testes de linha de cola foram realizados na máquina universal de ensaios com capacidade de 20 t.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos com os ensaios de flexão estática das vigas foram: a resistência à tensão normal às fibras, a resistência à tensão de cisalhamento e o módulo de elasticidade. As Tabelas 1, 2 e 3 mostram estes valores obtidos para as vigas

em MLC de parica com o adesivo RS 216-M e com o adesivo EPI EL-70, bem como os valores obtidos para as vigas de madeira serrada de parica.

Os valores de ensaio da primeira viga com adesivo EPI EL-70 foram perdidos devido à falta de luz durante o ensaio. A última viga apresentou falha durante o processo de colagem, pois uma das lâminas de extremidade, a qual uma das faces não tem cola, foi inserida no lugar da subsequente, tornando a linha de cola sem a gramatura necessária.

Tabela 1. Valores de flexão estática das vigas MLC de parica com adesivo RS 216-M.

Table 1. Static Bending values of parica glued laminated beams with RS 216-M adhesive.

VLC	Tensão de Ruptura (MPa)		Módulo (MPa)
	Axial	Cisalhamento	Em
RS 216-M			
A1	46,20	1,82	19.523,90
A2	45,51	1,80	17.939,02
A3	45,19	1,78	23.098,88
A4	36,99	1,46	21.445,40
A5	39,84	1,57	19.166,75
A6	38,00	1,50	15.725,66
A7	31,10	1,23	18.504,37
Média	40,40	1,59	19.343,43
Desvio padrão	5,58	0,22	2392,70
Coeficiente de Variação	13,82	13,82	12,37
$f_{m,k}$ (12%)	33,04	MPa	
$f_{v0,k}$ (12%)	1,30	MPa	

Tabela 2. Propriedades mecânicas das vigas MLC de parica com adesivo EPI EL-70.

Table 2. Mechanical properties of parica glued laminated beams with EPI EL-70 adhesive.

VLC	Tensão de Ruptura (MPa)		Módulo (MPa)
	Axial	Cisalhamento	Em
EPI EL-70			
B2	39,56	1,74	17.477,48
B3	36,07	1,59	14.611,40
B4	44,53	1,96	18.179,78
B5	40,67	1,79	17.035,46
B6	38,15	1,68	16.182,96
Média	39,80	1,75	16.697,41
Desvio padrão	3,16	0,14	1372,62
Coeficiente de Variação	7,93	7,93	8,22
$f_{m,k}$ (12%)	37,06	MPa	
$f_{v0,k}$ (12%)	1,63	MPa	

Tabela 3. Propriedades mecânicas das vigas de madeira serrada de parica.

Table 3. Parica sawn beams mechanical properties.

Viga	Tensão de Ruptura (MPa)		Módulo (MPa)
	Axial	Cisalhamento	Em
Serrada			
B32	48,86	1,93	20.399,52
B61	45,92	1,91	18.787,28
C2	40,22	1,59	23.777,15
C5	37,31	1,42	18.704,94
H12	35,24	1,46	16.654,91
H25	46,65	1,84	19.846,82
Média	42,37	1,69	19.695,10
Desvio padrão	5,55	0,23	2376,12
Coeficiente de Variação	13,10	13,62	12,06
$f_{m,k}$ (12%)	31,30	MPa	
$f_{v0,k}$ (12%)	1,21	MPa	

Os lotes de parica com 19 e 28 anos de idade foram classificados, conforme preconiza a NBR 7190/97, como madeiras de classe C-20, em que o valor característico de resistência axial é de 20 MPa. Este valor é inferior ao determinado no ensaio das vigas em MLC, cujo resultado mínimo foi de 31,30 MPa (Tabela 3) e equivalente ao valor característico de resistência à flexão dos lotes (33,12 MPa para 19 anos e 31,19 MPa para 28 anos). Portanto, pode-se empregar os critérios de dimensionamento da classe C-20 para o uso da madeira de parica em vigas de MLC.

Fagundes e Szücs (1998) e Grohmann e Szücs (1998) ao confeccionarem vigas em MLC para *Pinus sp* e *Eucalyptus grandis*, respectivamente, com o mesmo adesivo (RS 216-M), aplicando também uma classificação das lâminas e sua ordenação entre os terços superiores e inferiores, obtiveram resistência axial média de 22,30 MPa (*Pinus sp*) e 104,10 MPa (*Eucalyptus grandis*) e módulo de elasticidade médio de 9.460,40 MPa (*Pinus sp*) e 22.987,86 MPa (*Eucalyptus grandis*). Comparando estes valores médios com os da Tabela 1, observa-se que as vigas MLC de parica

obtiveram desempenho superior em relação às vigas MLC de *Pinus sp* e inferior em relação às vigas MLC de *Eucalyptus grandis*. Apesar do módulo de elasticidade ser inferior ao do *Eucalyptus grandis*, estes valores foram próximos e deve-se levar em consideração que a densidade aparente do parica (490 kgf/m³) é menor do que a das duas espécies (590 kgf/m³ e 640 kgf/m³).

Os resultados dos testes de resistência de linha de cola para os dois adesivos são mostrados pelas Tabelas 4 e 5.

Comparando-se os valores característicos de cisalhamento da Tabela 5 com os valores de ruptura de cisalhamento das Tabelas 1 e 2, observa-se que as vigas em MLC tiveram seus valores estimados de ruptura de cisalhamento abaixo do valor característico de resistência ao cisalhamento da linha de cola. Isso demonstra que as vigas não se romperam por tensões de cisalhamento, e sim por tensões axiais conforme foi observado durante os ensaios de flexão a quatro pontos. Portanto, o método de colagem e os adesivos apresentaram um desempenho satisfatório para a produção de vigas MLC de parica.

Tabela 4. Resistência característica ao cisalhamento paralelo na linha de cola.

Table 4. Characteristic strength to shear parallel to the glue line.

Corpos-de-prova A - RS 216M B - EPI EL-70	Tensão Ruptura	Tensão Ruptura
	RS 216M (MPa)	EPI EL-70 (MPa)
A1 - B1	3,50	3,68
A2 - B2	3,22	2,89
A3 - B3	3,44	3,14
A4 - B4	3,13	2,12
A5 - B5	2,49	2,95
A6 - B6	2,04	2,69
Média	2,97	2,91
Desvio-Padrão	0,58	0,51
Coeficiente de Variação	19,58	17,63
f_{v0,k} (12%) RS 216-M	2,02	MPa
f_{v0,k} (12%) EPI EL-70	2,34	MPa

Tabela 5. Resistência característica à tração normal na linha de cola.

Table 5. Characteristic strength to normal traction to the glue line.

Corpos-de-prova A - RS 216M B - EPI EL-70	Tensão Ruptura	Tensão Ruptura
	RS 216M (MPa)	EPI EL-70 (MPa)
A1 - B1	3,62	1,83
A2 - B2	4,34	1,88
A3 - B3	4,05	1,76
A4 - B4	3,53	1,12
A5 - B5	3,48	1,93
A6 - B6	3,84	2,08
Média	3,81	1,77
Desvio-Padrão	0,34	0,33
Coeficiente de Variação	8,85	18,94
f_{t90,k} (12%) RS 216-M	3,47	MPa
f_{t90,k} (12%) EPI EL-70	1,34	MPa

Quanto ao módulo de ruptura no cisalhamento, observou-se que tanto para o adesivo RS 216-M quanto para o adesivo EPI EL-70, houve sempre a ruptura na madeira e não na linha de cola. As Figuras 7a e 7b ilustram o modo de ruptura.

Para os modos de ruptura após o ensaio de tração, observa-se que para a cola RS 216-M houve uma ruptura padrão na madeira e não na linha de cola, já para a cola EPI EL-70 a ruptura padrão se deu na cola com percentagem de falhas de 50%. Os modos de ruptura padrão podem ser visto através das Figuras 8a e 8b.

Tratamento Estatístico dos Resultados

Os resultados foram tratados estatisticamente por meio de análise de variância (ANOVA) multivariada sendo verificada a diferença significativa entre os experimentos com 95% de confiabilidade.

As Tabelas 6 e 7 mostram os parâmetros estimados para a validação das hipóteses de igualdade entre os desvios-padrões (Teste de Cochran) e entre as variâncias de cada experimento (ANOVA).

Entre as vigas de parica observou-se a igualdade entre todos os valores médios dos três experimentos (MLC RS 216-M, MLC EPI EL-70 e Vigas de madeira serrada).

Verificaram-se também a igualdade entre os valores de resistência ao cisalhamento das linhas de cola para ambos os adesivos. Porém, houve uma diferença significativa entre os valores de resistência à tração normal entre as linhas de cola dos dois adesivos utilizados.

Estatisticamente distintas, o adesivo RS 216-M mostrou-se mais resistente ao esforço de tração normal do que o adesivo EPI EL-70. Já ao cisalhamento, ambos os adesivos não se diferem estatisticamente, obtendo desempenhos similares.



Figura 7. Modos de ruptura característicos das linhas de cola após ensaio de cisalhamento: (a) adesivo RS 216-M e (b) adesivo EPI EL-70.

Figure 7. Characteristic modes of rupture of the glue lines after shear test: (a) adhesive RS 216-M and (b) EPI adhesive EL-70.

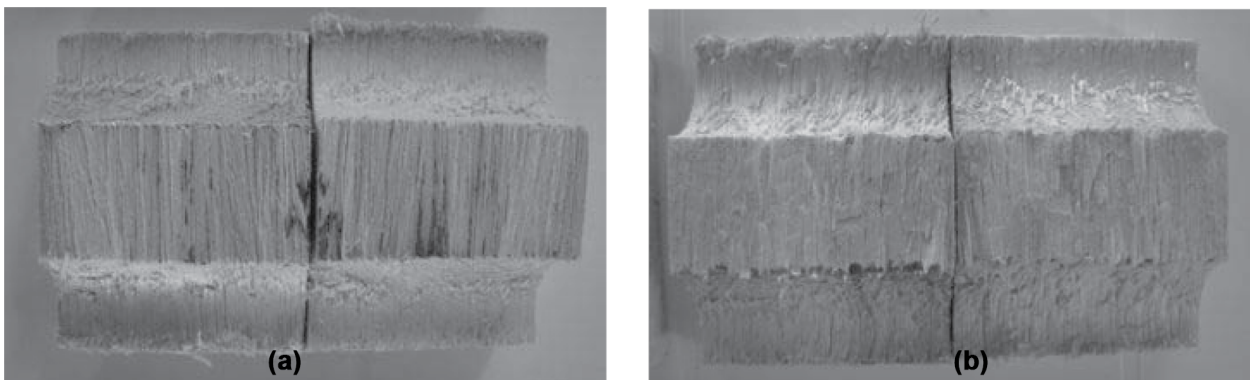


Figura 8. Modos de ruptura característicos das linhas de cola após ensaio de tração normal às fibras: (a) cola RS 216-M e (b) cola EPI EL-70.

Figure 8. Characteristics modes of rupture of the glue lines after normal traction test: (a) adhesive RS 216-M and (b) EPI adhesive EL-70.

Tabela 6. Valores dos testes estatísticos para os ensaios de flexão estática das vigas MLC de parica.

Table 6. Statistic tests values of the parica GLT beams of static bending tests.

Resistência Mecânica	Parâmetros Estimados			Parâmetros Tabelados		
	Normalidade	Cochran	ANOVA (F)	Normalidade	Cochran	ANOVA (F)
Axial	0,175	0,503	0,185	0,300	0,597	3,680
Cisalhamento	0,221	0,546	0,715	0,337	0,597	3,680
MOE	0,115	0,565	1,880	0,319	0,597	3,680

Tabela 7. Valores dos testes estatísticos para a resistência a tração normal e ao cisalhamento na linha de cola.
Table 7. Statistic tests of resistance values to the normal traction and parallel shear in the glue lines.

Resistência Mecânica	Parâmetros Estimados			Parâmetros Tabelaados		
	Normalidade	Cochran	ANOVA (F)	Normalidade	Cochran	ANOVA (F)
Tração Normal	0,183	0,504	57,341	0,319	0,853	4,750
Cisalhamento	0,244	0,562	0,014	0,319	0,853	4,750

CONCLUSÃO

A presente pesquisa demonstra que ambos adesivos podem ser utilizados para a confecção de vigas em MLC de parica, porém o adesivo EPI EL-70 possui resistência à tração normal à linha de cola menor do que o adesivo RS 216-M.

A madeira de parica pode ser empregada em vigas de MLC utilizando os critérios de cálculo para a classe de resistência C-20 da NBR - 7190/97, tendo desempenho satisfatório quanto à resistência e módulo de elasticidade. Neste caso, é possível conceber elementos estruturais como vigas e pilares para a sua aplicação na construção civil, como já acontece para a madeira de *Pinus* de floresta plantada no Brasil.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos especiais ao Sr. João de Deus pela doação das árvores de parica, aos engenheiros florestais Roberto Takeda, Evaristo Terezo, as empresas ARCA madeireira, DALMASO madeiras e Refloreste Madeiras, a empresa HEXION do Brasil pela doação do adesivo RS 216-M, aos colegas do GIEM e ao CNPq pelo aporte financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR - 15.521: Ensaio não destrutivo - Ultrassom aplicado à madeira de dicotiledônea. Rio de Janeiro: ABNT, 2007. 7p.

AFN - ASSOCIATION FRANCAISE DE NORMALISATION. NFB 5-32: Essai de cisaillement. Paris: AFN, 1942.

ASTM - AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIALS. ASTM-198/84: Static test for timber in structural sizes. West Conshohoken: ASTM, 1984.

BODIG, J. The process of NDE research for wood and wood composites. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NONDESTRUCTIVE TESTING OF WOOD, 12, 2000, Colorado. **Proceedings...** Colorado: CSU, 2000. Disponível em: <<http://www.ndt.net/articles/v06n03/bodig/bodig.htm>>. Acesso em: 23 dez. 2002.

BODIG, J.; JAYNE, B.A. **Mechanics of wood composites**. New York: Van Nostrand Reinhold Co. Inc., 1982. 712p.

CORADIN, V.T.R.; MUNIZ, G.I.B. **Normas de procedimentos em estudos de anatomia de madeira: I. Angiospermae; II. Gimnospermae**. Brasília: IBAMA/DIRPED, 1991. 19p. (IBAMA. DIRPED. LPF. Série Técnica, 15).

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. DIN - 68-140: **Wood Finger-Jointing**. Berlin: DIN, 1971.

FAGUNDES, G.S.R.; SZÜCS, C.A. Composição racional de vigas de madeira laminada colada de *Pinus*. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 6, 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: EBRAMEM, 1998. p.279-288.

GROHMANN, S.Z.; SZÜCS, C.A. Vigas de madeira laminada colada com lâminas pré-classificadas de *Eucalyptus grandis*. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 6, 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: EBRAMEM, 1998. p.291-301.

MACEDO, A.N.; DIAS, A.A.; BARATA, T.Q.F. Madeiras tropicais da Amazônia. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE MADEIRA E ESTRUTURAS EM MADEIRA, 10, 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: EBRAMEM, 2000. CD-ROM. .

MACHADO, J.S. Produtos de madeira maciça para a construção: desafios da qualidade. **Silva Lusitana**, Lisboa, v.12, n.2, 2004. p.203-212.

MATTHIESEN, J.A.; GÓES, J.L.N. Avaliação das emendas biseladas em vigas retas de madeira laminada colada. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E EM ESTRUTURA DE MADEIRA, 7, 2000, São Carlos. *Anais...* São Carlos: USP/EBRAMEM, 2000. CD-ROM.

SANTOS NETO, A.B.S.; GROHMANN, S.Z.; SZÜCS, C.A. Ensaio de caracterização de vigas de madeira laminada colada (MLC) por flexão a quatro pontos. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 6, 1998, FLORIANÓPOLIS. *Anais...* Florianópolis: EBRAMEM, 1998. pp. 283-293.

SZÜCS, C.A. **Aplicação estrutural da madeira sob a técnica do laminado-colado.** Florianópolis: UFSC Departamento de Engenharia Civil, 1992. Não paginado. Apostila.

SZÜCS, C.A. **Painéis – MLC.** Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/madeira_paineis.php?num=14&title=MLC>. Acesso em: maio 2006.

SZÜCS, C.A.; BOHN, A.R.; VALLE, A. Corpos-de-prova para a caracterização de elementos produzidos em madeira laminada colada. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 6, 1998, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: EBRAMEM, 1998.

TEREZO, R.F. **Avaliação tecnológica do paricá e seu uso em estruturas de madeira laminada colada.** Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

TEREZO, R.F. **O Ultrassom na estimação de propriedades mecânicas de madeiras utilizadas em estruturas históricas e contemporâneas.** 120p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

TEREZO, R.F.; TEREZO, E.F.M.; SZÜCS, C.A. Reflorestamento no Brasil: sua história e seus aspectos econômico-sociais. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 10, 2006, Águas de São Pedro. *Anais...* Águas de São Pedro: EBRAMEM, 2006. CD-ROM.

Recebido em 12/11/2009

Aceito para publicação em 14/07/2010