

COMPORTAMENTO DE VIGAS RETAS EM MLC COM EMENDAS DE TOPO E BISEL – PARTE I

Alexandre Miguel do Nascimento¹

Ricardo Marius Della Lucia²

Fernando da Costa Baeta³

RESUMO

Foram construídas e testadas oito vigas com madeira de pinus, divididas em dois grupos sendo o primeiro grupo com emendas em bisel em todas as laminas e o segundo com bisel nas laminas tracionadas, e topo nas laminas comprimidas. A colagem das emendas foi feita simultaneamente à colagem das vigas, dispensando pré-colagem das emendas. As vigas foram avaliadas quanto ao módulo de ruptura e as fraturas ocorridas. As médias dos módulos de ruptura do primeiro e segundo grupos foram, respectivamente, 53,0 MPa e 55,6 MPa. O contraste entre estas médias, que pelo teste t, não mostrou diferença significativa, o que revela que as emendas de topo na região comprimida são tão eficientes quanto as emendas biseladas. A diferença média entre o módulo de elasticidade experimental e teórico foi de 4,43%. Das 8 vigas testadas 4 apresentaram ruptura na emenda da lamina mais solicitada à tração. Isto sugere que nas laminas mais solicitadas à tração, a colagem das emendas possa ser feita em separado.

Palavras-chaves: mlc, pinus, emendas

ABSTRACT

BEHAVIOUR OF STRAIGHT GLULAM BEAM WITH SCARF AND BUTT JOINT- PART I

Eight long glulam beams were manufactured using pine lumber. Four of them were used scarf joints in the plies, while the rest had scarf joints in the tension side and butt joints in the compression plies. The joints were glued simultaneously with the gluing of the plies, thus eliminating a previous adhesion. The beams were loaded to rupture and described as to their modulus of rupture and type of fracture. Beam strength averaged 53.0 and 55.6 MPa for the first and second group, respectively. The difference between these two values was not significant, statistically, and indicates that butt joints in the compression side are as efficient as scarf joints. The difference between the experimental and the theoretical modulus of elasticity was only 4.43%. Of the eight beams tested, four failed in the joint most stressed in tension. This indicates that those joints should be made in a previous operation.

Key words: glulam, pine, joints

¹ Departamento de Produtos Florestais, Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio De Janeiro, Seropédica, RJ, CEP 23890-000, e-mail: amn@ufrj.br

² Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa

³ Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa

Recebido para publicação em 2001.

INTRODUÇÃO

Grandes números de trabalhos feitos com vigas de madeira laminada colada (mlc) tem surgido nos últimos 10 anos no Brasil (Carrasco, 1989; Bohn, 1995; Graeff, 1995; Gronhmann, 1998; Mantthiessen e Góes 2000; Nascimento, 2000 e Carrasco e Mello, 2002).

Isto deve-se, em parte, à grande quantidade de madeira de reflorestamento à disposição no mercado, além da grande diversidade de tamanho e forma de membros estruturais que pode-se obter com a técnica de laminado colado. Destacam-se as madeiras de *Pinus* e *Eucalyptus*. Além disso, a classificação das lâminas de madeira, permite melhor localização na seção transversal, em função da sua qualidade mecânica e física, o que conduz a um aumento da rigidez e resistência dos elementos estruturais

Na construção de elementos estruturais feitos de madeira laminada colada, as emendas são de grande importância para projetos de elementos maiores que as lâminas produzidas naturalmente dos troncos das árvores. As emendas podem ser do tipo topo, bisel e denteada .

As primeiras emendas a serem utilizadas foram as emendas de topo, de fácil execução, mas pouco eficiente na resistência, quando solicitadas. As emendas em bisel foram utilizadas amplamente, devido a sua grande eficiência como agente de ligação estrutural, mas hoje, a nível industrial, caíram em desuso, pois com o surgimento das emendas denteadas, estas representam um grande desperdício de madeira, principalmente para menores inclinações. Atualmente as emendas denteadas são as emendas mais utilizadas pelas empresas que produzem elementos estruturais de madeira em laminado colado.

Em aparente desuso, as emendas de topo e bisel continuam sendo pesquisadas, pois são de fácil confecção e não exigem equipamentos específicos para corte, como as emendas denteadas. Por exemplo, Nordstrom (1995) estudou a resistência à flexão de madeira de abeto – *Picea* sp - unidas de

topo utilizando adesivo resorcinol, atingindo o valor de 17,8 MPa o que corresponde a 20% da resistência à flexão da madeira sólida. Mantthiessen (1998) estudou emendas em bisel para madeira de baixa e alta densidade e obteve bons resultados de eficiência relativa . Abraão (2001) fez uso de emendas de topo em vigas e colunas num estudo de redução de área colada. Nascimento et al. (2001) encontrou bons resultados para inclinação do bisel em 1:10 para madeira de pinus .

O ressurgimento do interesse por estes tipos de emendas se dá devido a facilidade de execução, não necessidade de utilização de equipamentos dispendiosos e bons resultados encontrados em pesquisas preliminares.

Com isto, os objetivos deste trabalho foram: construir, testar e comparar dois grupos de vigas, sendo o primeiro grupo feito com emendas só em bisel e o segundo grupo com emendas de topo e bisel, sendo a colagem das emendas feitas simultaneamente na colagem e prensagem das vigas.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a condução do presente trabalho, foram utilizadas madeiras de pinus oriundas do Estado do Paraná, na forma de tábuas. A madeira adquirida era constituída de uma mistura de *Pinus elliottii* e de *Pinus taeda*. Essas madeiras foram secas em estufa desumificadora de baixa temperatura, até umidade final média de 11,5 %.

Produção das vigas

As vigas foram produzidas com 14 camadas de madeira e cada camada foi composta por duas lâminas que, somadas no comprimento, ultrapassassem os 5,4 m. Na montagem das emendas tomou-se o cuidado para que lâminas adjacentes não estivessem na mesma seção transversal.

Para isto, aproximadamente 600 lâminas de madeira com 21 mm de espessura e 81 mm de largura foram classificados em função do tamanho dos nós localizados nas arestas das lâminas e seus

respectivos módulos de elasticidade (MOE). Assim foram estabelecidos quatro classes de qualidade para as laminas: Classe 1, nó com máximo de 1/6 da largura da lâmina e MOE de 12.063 MPa; Classe 2, nó entre 1/3 e 1/6 de largura da lamina e MOE de 12.063 MPa; Classe 3, nó entre 1/3 e 1/6 da largura da lâmina e MOE de 10.882 MPa; Classe 4, nó acima de 1/3 da largura da lamina e MOE de 9.131 MPa

Para confecção de uma viga, 28 lâminas foram tomadas aleatoriamente entre quatro classes de qualidade. Duas foram provenientes da classe 1, duas da classe 2, oito da classe 3 e dezesseis da classe 4. Na montagem das vigas, as lâminas da classe 1 foram destinadas ao local de máxima solicitação à tração e as lâminas da classe 2 foram destinadas ao local de máxima solicitação à compressão. As lâminas da classe 3 foram destinadas às adjacências das lâminas mais solicitadas à tração e à compressão. As lâminas da classe 4 foram destinadas a região central da seção transversal da viga (Figura 1).

As lâminas foram preparadas com 78 mm de largura e desengrossadas nas duas faces com 17 mm de espessura. Nessas condições, foram confeccionados os biséis para a montagem das vigas. A inclinação escolhida do bisel foi de 1:10.

Foram produzidas quatro vigas, separadas em dois grupos: *Grupo 1*. Quatro vigas com biséis em todas as 14 lâminas; *Grupo 2*. Quatro vigas com emendas em biséis nas sete lâminas inferiores e sete emendas de topo nas lâminas superiores.

As vigas foram coladas com adesivo resorcinol com taxa de espalhamento de 300 g/m². O tempo médio desde o início da aplicação do adesivo até a prensagem da viga foi de aproximadamente 20 minutos.

Na prensagem das vigas, as lâminas com adesivo foram colocadas uma sobre as outras e a montagem das emendas longitudinais foram feitas no momento da colagem, dispensando uma pré-colagem das emendas em separado. A pressão foi aplicada com auxílio de prensa construída com madeira de jatobá, que foi projetada segundo Carrasco (1989), para garantir a pressão desejada

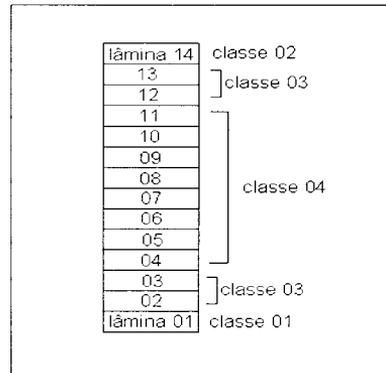


Figura 1. Seção transversal das vigas, com as respectivas classes e a localização das lâminas.

Figure 1. Traversal section of the beams with respective grades and laminated localization.

na posição menos favorável. Em cada par de eixos rosqueados foi aplicada uma carga de 24,4 kN, que garantia uma pressão de 1,1 MPa. O período mínimo de prensagem foi de 16 horas e o período para utilização das vigas foi de 8 dias. Após este período, as vigas foram cortadas nos extremos e desengrossadas até a largura final de 73 mm.

Testes das vigas

As vigas foram avaliadas quanto aos módulos de elasticidades teórico e experimental, módulo de ruptura e análise das fraturas. Para isso, foi utilizado uma máquina de ensaio universal com capacidade de 400 kN acoplada a uma viga de aço com seis metros de comprimento com seção transversal em I. Teste t foi aplicado para verificação de diferença estatística significativa entre as médias do módulo de ruptura dos dois grupos de vigas.

Determinação do módulo de elasticidade

Rigidez e Módulo de elasticidade teórico

O módulo de elasticidade teórico foi calculado segundo a formulação citado por Grohmann (1998), para uma viga constituída por lâminas com distintos módulos de elasticidade. Essa proposta parte do

pressuposto que a localização da linha neutra se dá no mesmo local da linha de simetria da viga.

Módulo de elasticidade experimental

O deslocamento no centro da viga num ensaio a quatro pontos foi determinado para que se pudesse calcular o módulo de elasticidade experimental. A viga foi carregada até 10kN e os deslocamentos foram registrados com auxílio de relógio comparador a cada 1kN de carga. O ponto de tomada do deslocamento foi o eixo de simetria da viga e a expressão para a determinação do módulo de elasticidade, que leva em consideração o efeito do momento fletor e da força cortante, é:

Equação 1

$$\delta = \frac{Pa}{48EI} (3L^2 - 4a^2) + \chi \frac{Pa}{2Gbh}$$

em que P é a carga aplicada; a é a distância entre o ponto de apoio e o ponto de aplicação da carga; L é o vão; d é a flecha máxima no meio do vão; I é a inércia da viga; G é o módulo de elasticidade devido ao cisalhamento; E é o módulo de elasticidade longitudinal; χ é o coeficiente de distribuição da tensão de cisalhamento.

Segundo o Forest Products Laboratory (1999), para as espécies de madeira de pinus, a relação entre o módulo de elasticidade longitudinal (E) e o módulo de rigidez (G) são bem próximos de 16, ou seja E/G \cong 16. Bohn (1995); Grohmann (1998) e Graeff (1995), citam que o coeficiente de distribuição da tensão de cisalhamento pode ser considerado como 1,2 ($\chi=1,2$). Substituindo E/G=16 e $\chi=1,2$ na equação 1 chega-se à expressão abaixo, que permite a determinação do módulo de elasticidade experimental longitudinal baseado apenas no deslocamento máximo.

Equação 2

$$E_e = \frac{Pa}{\delta bh} \left(\frac{3L^2 - 4a^2}{4h^2} + 9,6 \right)$$

Determinação do módulo de ruptura

O módulo de ruptura para vigas com transformações das seções - homogeneização através do módulo de elasticidade - é dado pela expressão desenvolvida por Carrasco (1989):

Equação 3

$$\sigma = \frac{ME_i}{EI} (t - y_i)$$

Equação 4

$$\bar{EI} = \sum_{i=1}^n E_i I_i + b \sum_{i=1}^n E_i h_i \left[\left(t - \left(\sum_{j=1}^{i-1} h_j + \frac{h_i}{2} \right) \right)^2 \right]$$

Equação 5

$$t = \frac{\sum_{i=1}^n E_i h_i \left[\sum_{j=1}^{i-1} h_j + \left(\frac{h_i}{2} \right) \right]}{\sum_{i=1}^n E_i h_i}$$

em que σ é a tensão normal, M é o momento fletor, y_i é a distancia da fibra solicitada à linha neutra, b é a largura da viga, h é a espessura das lâminas, EI é a rigidez da viga e t posicionamento da linha neutra.

Análise das fraturas

As vigas depois de rompidas foram mapeadas, desenhando-se os desenvolvimentos das fraturas. Procurou-se identificar falhas associadas a defeitos da madeira, como desvio de grã, presença de nós e outros tipos de defeitos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os módulos de elasticidade teórico e experimental obtidos constam na Tabela 1, assim como a carga de ruptura, a rigidez, o módulo de ruptura e tensão do limite de proporcionalidade das oito vigas testadas. As vigas de um até quatro são aquelas que foram emendadas só em bisel e de cinco até oito são as emendas em bisel e topo.

Observa-se que os valores dos módulos experimentais estão bem próximos dos valores teóricos, com exceção das vigas 2, 4 e 8. Estas maiores diferenças podem ser explicadas pelo possível erro de identificação ou de medição do módulo e elasticidade das lâminas individuais. Vê-se que a diferença média para o grupo 1 e 2 foram respectivamente, 4,81 e 4,05%.

Os valores de módulo de ruptura oscilaram entre 44,1 MPa e 63,4 MPa e os valores médios para o grupo 1 e o grupo 2 foram 53,0 e 55,6 MPa, respectivamente. Observa-se que apesar dos dois grupos de vigas terem diferentes emendas nas lâminas comprimidas, os valores de módulo de

elasticidade foram muito próximos. O teste t revela que a diferença entre as médias citadas anteriormente não foram significativas ao nível de 5% de significância.

A viga número 1 apresentou menor valor de resistência, pois houve um problema de adesão na emenda biselada da lâmina 1, além desta emenda possuir um nó, que enfraqueceu mais ainda a região. As tensões médias no limite de proporcionalidade foram 37,1 MPa e 36,1 MPa, respectivamente para o grupos 1 e 2.

Na Tabela 2 estão os tipos de fraturas e suas localizações após a ruptura das vigas, com destaque as lâminas 1 e 14, assim como o módulo de ruptura. Na Figura 2 estão desenhados os pontos de fratura e o seu caminhamento. Esta Figura também mostra os pontos de aplicação de carga (setas verticais para baixo) e a linha tracejada representa o centro da viga. Vale a pena destacar que entre as setas está a região de momento fletor máximo e da tensão normal máxima e constante nos extremos tracionados e comprimidos. A Figura também contém as emendas e suas localizações.

Tabela 1. Informações gerais das vigas testadas.

Table 1. General information of beams tested.

Viga	N_r kN	MOR MPa	L_p MPa	EI N.m ²	E_m MPa	E_t MPa	E_e MPa	Diferença (1- E_t/E_e)100
V1	26,2	44,1	37,6	941.974	9.440	10.615	10695	0,75
V2	33,8	51,0	39,7	1.105.011	10.440	11.526	10569	9,05
V3	38,6	63,5	39,5	1.093.453	10.420	12.689	12284	3,30
V4	30,6	53,5	41,9	962.487	9.959	11.456	10792	6,15
V5	32,1	51,8	35,5	942.946	9.420	10.950	11.396	3,91
V6	33,0	51,6	37,6	974.260	9.617	11.305	11.824	4,39
V7	38,0	63,2	39,9	962.316	9.863	11.443	11.341	0,90
V8	33,2	55,6	40,2	959.297	9.738	11.405	10.658	7,01
Grupo 1 média	32,3	*53,0 ^a	39,7	1.025.731	10.065	11.572	11.085	4,81
Grupo 2 média	34,1	*55,6 ^a	38,3	959.705	9.660	11.276	11.305	4,05

Em que N_r é a carga de ruptura; MOR é o módulo de ruptura; L_p é a tensão no limite de proporcionalidade; EI rigidez da viga; E_m é a média aritmética dos módulos das lâminas; E_t é o módulo teórico homogeneizado; E_e é o módulo experimental. Valores das diferenças estão em módulo. * Os contrastes entre as médias foram avaliados pelo teste t e as letras iguais mostram que não há diferença estatística significativa ao nível de 5% de significância.

Observando a tabela 2 nota-se que as vigas que tiveram os valores mais elevados de carga de ruptura (vigas 3 e 7) foram aquelas que romperam na madeira – ver também figura 2. A viga 7 rompeu na madeira, tendo característica típica de falha de tração assim com a viga 3. As vigas 5 e 8 também romperam na madeira, mas com valor de resistência mais baixo, devido à existência de um desvio de grã e de uma inclinação de grã acentuada, nas respectivas vigas.

As demais vigas, 1, 2, 4 e 6, romperam nas emendas das lâminas mais solicitadas à tração, o que pode ser visto na figura 2. Observa-se ainda que estas emendas estavam fora da região de momento máximo, mostrando que a tensão de ruptura nestes pontos estavam abaixo do módulo de ruptura apresentados na tabela 1. Nas demais laminas emendadas por bisel e por topo, não se observou pontos de fragilidade. Isto revela que a

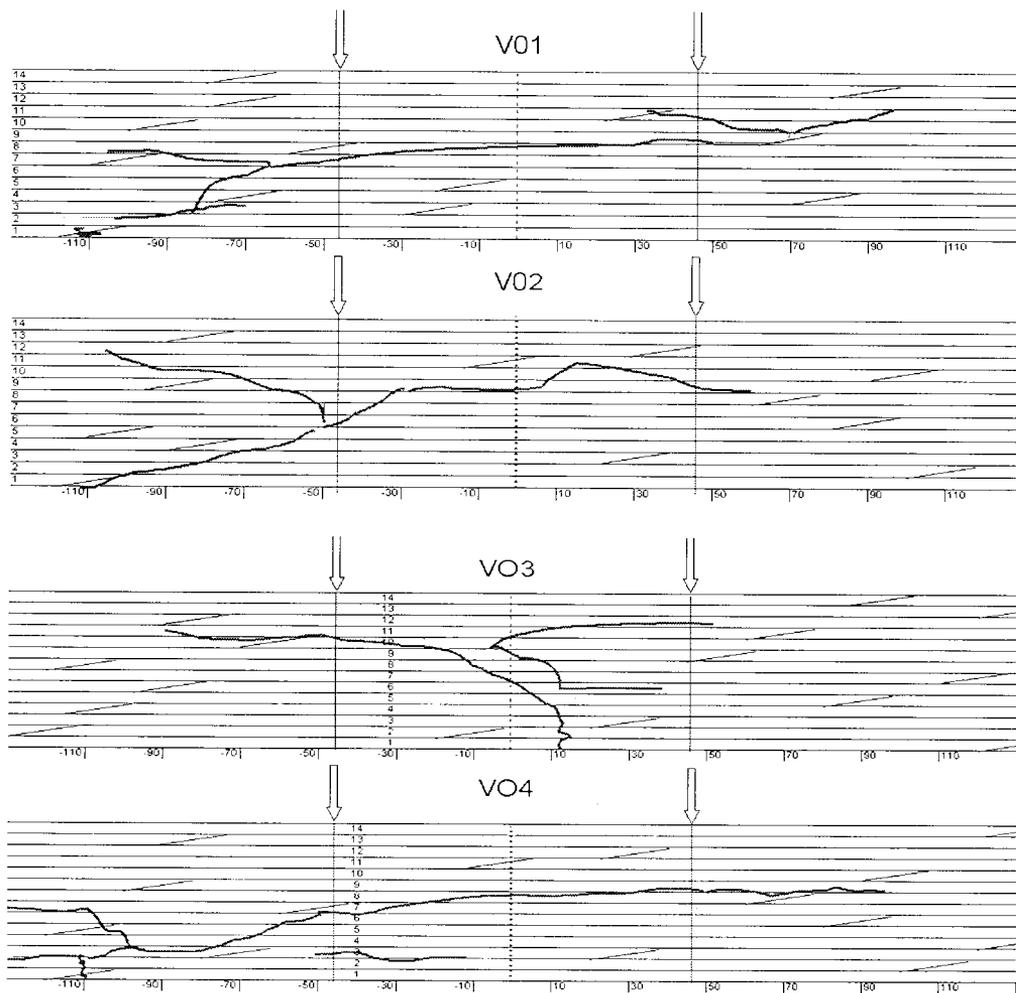


Figura 2. Fraturas das vigas com emendas em bisel.

Figure 2. Fractures of beams with scarf joint.

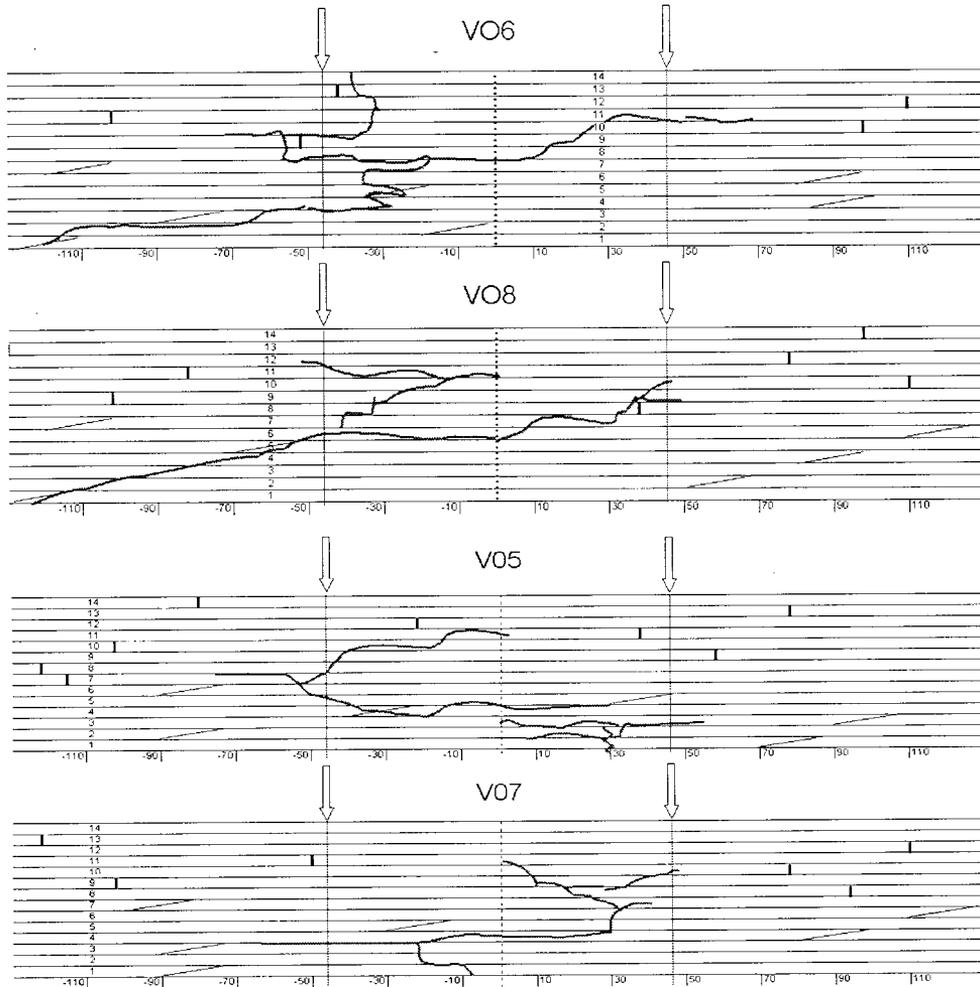


Figura 3. Fraturas das vigas com emendas de topo e bisel.

Figure 3. Fractures of beams with scarf and butt joint.

confeção de emendas nas lâminas mais sujeitas a tensões de tração, no mesmo momento da colagem e prensagem das vigas, em alguns casos, acarreta em problemas na qualidade da ligação. Observa-se também que a existência de algum tipo de defeito nas lâminas mais solicitadas à tração gera uma diminuição do módulo de ruptura (vigas 5 e 8).

Os resultados e comportamento aqui encontrados estão de acordo com dados da

literatura. Burdzik (1997) mostrou que lâminas, nas suas emendas, podem possuir maiores valores de resistência que as lâminas que possuem pequenos defeitos. Por outro lado, quando vigas de madeira laminada são testadas, as menos resistentes são aquelas que iniciam o processo de ruptura nas emendas das lâminas mais solicitadas à tração, contra aquelas que sofrem ruptura nas localidades dos defeitos naturais.

Tabela 2. Tipos e localizações das falhas nas vigas.

Table 2. Types and localization of failures in the beams.

Viga	MOR Mpa	Tipo de Falhas
1	44,1	tração na emenda da lâmina 1 com presença de nó na emenda
2	51,0	tração na emenda da lâmina 1 e falha de compressão na lâmina 13
3	63,5	tração na madeira da lâmina 1 e na emenda da lâmina 2 e falha de compressão na lâmina 14
4	53,5	tração na emenda da lâmina 1
5	51,8	tração na madeira da lâmina 1 com presença de desvio de grã e falha de compressão na lâmina 13
6	51,6	tração na emenda da lâmina 1 e falha de compressão da lâmina 13
7	63,2	tração na madeira da lâmina 1 e falha de compressão na lâmina 14
8	55,6	tração na madeira da lâmina 1 com presença de inclinação de grã , próxima da emenda

Quanto à qualidade da madeira e da emenda da lâmina mais solicitada a tração, Hernandez & Moody (1996) concluíram que um total de 771 vigas de MLC, a classe mecânica de qualidade das lâminas mais solicitadas à tração serve como um indicador das propriedades de resistência à flexão das vigas, mostrando ser uma forma efetiva de classificar vigas de madeira.

CONCLUSÕES

A colagem das emendas, simultaneamente com a colagem das lâminas, mostrou-se satisfatória, com exceção das laminas mais tracionadas. Estas devem ser emendadas em separado. Outra forma de melhorar o desempenho das vigas é aplicar um maior rigor na seleção das lâminas a serem destinadas à tração extrema, quanto ao desvio e inclinação de grã. Isto mostra que o desempenho das vigas depende muito da qualidade da madeira e da emenda da lâmina mais solicitada a tração.

Não houve diferença estatística no módulo de ruptura entre as vigas feitas com emendas de topo e emendas em bisel nas laminas comprimidas, o que revela que as emendas de topo podem ser utilizadas nestas laminas. As rupturas quase sempre ocorreram em algum local que apresentou defeito da madeira

na lâmina extrema tracionada ou em sua emenda.

As equações utilizadas para determinar o módulo de elasticidade experimentalmente foram apropriadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAHÃO, C. P. **Efeito da redução da área colada no comportamento de vigas e colunas de madeira laminada de *Eucalyptus grandis***. 2001. 61p. Dissertação (Mestrado em Ciência florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- BOHN, A. R. **Influência da espessura das lâminas de cola na madeira laminada colada**. 1995. 68 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- BURDZIK, W. M. G. Finger joint strength. A laminated beam strength predictor? **South African Forestry Journal**, n. 178, p. 39-45, 1997.
- CARRASCO, E. V. M. **Resistência, elasticidade e distribuição de tensões nas vigas retas de madeira laminada colada**. 1989. 120 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia

de São Carlos, São Carlos.

CARRASCO, E. V. M.; MELO, A.V. Vigas I de madeira laminada colada de eucalipto In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E EM ESTRUTURA DE MADEIRA, 8, 2002, Uberlândia. **Anais...** [arquivo de computador]. Uberlândia : FEC/UFU, 2002, Cd-rom.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook : wood as an engineering material**. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1999.

GRAEFF, A. **Estudo da madeira laminada colada com emendas de topo reforçadas com fibra de vidro**. Florianópolis, 1995. 129p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- UFSC, Universidade Federal de Santa Catarina, 1995.

GROHMANN, S. Z. **Vigas de madeira laminada colada com lâminas pré – classificadas de *Eucalyptus grandis***. 1998. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis

HERNANDEZ R.; MOODY, R. C. Analysis of glulam timber beams with mechanically graded (E-rated) outer laminations. In: INTERNATIONAL WOOD ENGINEERING CONFERENCE, 1996. New Orleans, LA. **Proceeding...** Baton Rouge, LA: Louisiana State University, 1996. v.1, p. 144-150.

MATTHIESEN, J. A. Estudo das emendas biseladas em madeira laminada colada. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E EM ESTRUTURA DE MADEIRA, 6, 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC; LEE, 1998. v.1, p. 345-356.

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...** [arquivo de computador

]. São Carlos: EESC/USP, 2000, Cd-rom.

NASCIMENTO, A.M. **Avaliação experimental de vigas retas de madeira laminada colada, e seus componentes, feitas com madeira de *Pinus spp.* somente e também reforçadas com madeira de *Corymbia (=Eucalyptus) citriodora***. 2000. 137f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

NASCIMENTO, A.M.; DELLA LUCIA, R. M.; VITAL, B R. Colagem de emendas biseladas em madeiras de *Pinus sp* e *Eucalyptus citriodora* . **Floresta e Ambiente**. v.8, n.1, p.44-51, 2001.

NORDSTROM, J. E. P. Bending strength of spruce end-grain butt-joint using resorcinol formaldehyde-based adhesives. **Forest Products Journal**, v.45, n.6, p.77-83, 1995.