

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

Alexandre Miguel do Nascimento<sup>1</sup>

Ricardo Marius Della Lucia<sup>2</sup>

Fernando da Costa Baeta<sup>3</sup>

### RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi construir e testar oito vigas com 5,4 metros de comprimento, usando laminas de madeira de pinus spp e Eucalyptus citriodora. Quatro delas foram feitas somente com madeira de pinus, e as demais com madeira de Pinus spp e Eucalyptus citriodora. As camadas foram feitas mais longas pelo uso de emendas biseladas no lado tracionado e emendas de topo no lado comprimido das vigas. Nas vigas de pinus, estas juntas foram feitas simultaneamente à colagem das camadas, dispensando a adesão prévia. Em duas vigas de pinus-eucalipto a colagem das lâminas externa foi feita previamente. As vigas foram carregadas até a ruptura e descritas pelo módulo de ruptura (MOR), módulo de elasticidade (MOE) e o tipo de fratura ocorrida. As médias dos módulos de ruptura do primeiro e segundo grupo foram, respectivamente, 55,6 MPa e 70,7 MPa. As diferenças médias entre o módulo de elasticidade experimental e teórico foram de 4,1% e 3,5 % para vigas de pinus e pinus-eucalipto, respectivamente. A inclusão da madeira de E. citriodora aumenta o MOE de 11.305 MPa para 18.382 MPa. Das quatro vigas testadas de pinus, duas apresentaram ruptura na emenda da lâmina mais solicitada à tração. Nas vigas de pinus-eucalipto, as lâminas das extremidades, que foram emendadas e coladas separadamente, não apresentaram falha por tração ou compressão. Isto sugere que nestas juntas, a colagem deva ser feita previamente.

Palavras-chaves: madeira laminada colada, pinus, eucalipto

### ABSTRACT

## BEHAVIOUR OF STRAIGHT GLULAM BEAM WITH SCARF AND BUTT JOINTS - PART II

The objective of this research was building and testing eight 5.4 meter long glulam beams, using Pinus spp and Eucalyptus cifriodora lumber for the laminations. Four of them were made of pine wood only and the others of pine plus eucalypti. Plies were made longer by using scarf joints in the tension side and butt joints in the compression side of the beams. In the pine beams, these joints were glued simultaneously with the gluing of the plies, thus eliminating a previous adhesion. In two beams with pine-eucalypti woods, the adhesion was previously made. The beams were loaded to rupture and described as to their modulus of rupture and type of fracture. Modulus of rupture average 55.6 MPa and 70.7 MPa for the first

<sup>1</sup> Departamento de Produtos Florestais, Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, e-mail: amn@ufrj.br

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa

<sup>3</sup> Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa

Recebido para publicação em 2003.

(pine) and second group (pine-eucalypti), respectively. The differences between the experimental and the theoretical modulus of elasticity amounted to only 4.1% and 3.5 % for pine and pine-eucalypti beams, respectively. The addition of the *Eucalyptus cifriodora* plies increased the modulus from 11,305 MPa to 18,382 MPa. Of the four pine beams tested, two failed in the joint most stressed in tension. In the beams with eucalypti wood, the border laminations that were glued and jointed separately, did not presented compression and tension failure. This seems to indicate that these joints should be made in a previous operation.

Key words: glulam, pine, eucalypti

## INTRODUÇÃO

A madeira laminada colada (MLC) tem despertado grande interesse por parte de pesquisadores e de empresas quanto à pesquisa e fabricação para fins estruturais (Carrasco, 1989; Bohn, 1995; Graeff, 1995; Grohmann, 1998; Matthiesen & Góes 2000; Nascimento, 2000; Carrasco & Mello, 2002, Nascimento et al., 2002). O emprego de MLC permite a construção de grandes elementos estruturais, com capacidade de cobrir grandes vãos e com grandes seções transversais. Praticamente não há limites para o projetista quanto às dimensões dos elementos e suas formas. Além disto, a classificação física e mecânica prévia das lâminas que serão utilizadas, permite otimização da utilização da madeira, destinando o material adequado para a localização específica na seção transversal, o que conduz a um aumento da rigidez e resistência dos elementos estruturais.

Na fabricação de madeira laminada colada, as emendas são de grande importância para projetos de grandes elementos estruturais. As emendas podem ser dos tipos topo, bisel e denteada. A primeira emenda a ser utilizada foi a de topo, de fácil execução, mas pouco eficiente quanto à resistência. As emendas em bisel foram utilizadas amplamente, devido a sua grande eficiência como forma de ligação estrutural, embora apresentem grande desperdício de madeira, principalmente para emendas com menores inclinações. Hoje, a nível industrial, estas caíram em desuso, devido o surgimento das emendas denteadas, também conhecidas como "finger-joint". Atualmente, as emendas denteadas são as mais utilizadas pelas empresas que produzem elementos estruturais com

madeira laminada colada.

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. Matthiesen (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 dois tipos de emendas se deve à facilidade de execução, não havendo necessidade de utilização de equipamentos dispendiosos e aos bons resultados encontrados em pesquisas preliminares.

A grande disponibilidade no mercado de madeira de reflorestamento favorece ainda mais as pesquisas sobre o desenvolvimento de estruturas em MLC, com a vantagem adicional de se diminuir o impacto em nossas florestas nativas, preservando-as.

Entre as espécies de reflorestamento, os gêneros que se destacam são o *Pinus* e o *Eucalyptus*. O *pinus* possui a vantagem de apresentar boa propriedade de colagem, de desdobro, de secagem rápida, com pouco problema de tensão de crescimento, e sendo largamente plantado na região sul e sudeste do Brasil. O gênero *Eucalyptus* tem uma maior distribuição pelo Brasil, além de grande número de espécies, com uma ampla variação das

suas propriedades físicas e mecânicas. A construção de elementos estruturais com a mistura de madeira deste dois gêneros viabilizaria a fabricação de estruturas com melhor relação peso/resistência.

Com isto, os objetivos deste trabalho foram: construir, testar e comparar dois grupos de vigas, sendo o primeiro grupo feito com madeira só de pinus e o segundo grupo com madeira de pinus reforçada com madeira de *Eucalyptus citriodora* usando emendas de topo nas lâminas comprimidas, e em bisel, nas lâminas tracionadas.

## MATERIAL E MÉTODOS

Para a condução do presente trabalho, foram utilizadas madeiras do gênero *Pinus* e de *E. citriodora*. A madeira de pinus era uma mistura de *Pinus elliottii* e de *Pinus taeda*. Essas madeiras foram secas em estufa desumidificadora de baixa

temperatura, até umidade final média de aproximadamente 12%.

### Produção das vigas

As vigas de pinus e pinus-eucalipto foram produzidas com 14 e 12 camadas de madeira, respectivamente. Cada camada foi composta por duas lâminas que, somadas no comprimento, ultrapassassem os 5,4 m. Na montagem tomou-se o cuidado que as emendas, nas lâminas adjacentes, não estivessem na mesma seção transversal. Para isto, as lâminas de madeira de pinus e eucalipto foram produzidas com 78 mm de largura e com espessuras de 21 mm e 44 mm, respectivamente. Estas foram classificadas, em quatro classes, em função do tamanho dos nós localizados nas arestas das lâminas e foram determinados os seus respectivos módulos de elasticidade (MOE). Na tabela 1 estão os resultados da classificação das lâminas de madeira de *Pinus* spp e *E. citriodora*.

Tabela 1. Resultados da classificação das lâminas de pinus e eucalipto quanto ao tamanho dos nós de aresta e módulo de elasticidade.

Table 1. Results of the grading lumber of pinus and eucalypti wood as a function of edge knots and modulus of elasticity.

Classe	Madeira de <i>Pinus</i> 1		Madeira de <i>citriodora</i>	
	Módulo de Elasticidade (MOE)	Tamanho do nó (mm)	Módulo de Elasticidade (MOE)	Tamanho do nó (mm)
1	Meio	1	Meio	1
2	1	1	1	1
3	1	1	1	1
4	Maior	1	1	1

\* Leia-se "menor que um sexto da largura da lâmina".

Na figura 1 vê-se como foi feita a distribuição das lâminas em função da seção transversal das vigas. As dimensões finais das lâminas foram 78 mm de largura e 17 mm de espessura para pinus, e 34 mm de espessura para eucalipto. Nessas

condições foram confeccionados os biséis para a montagem das vigas. A inclinação escolhida do bisel foi de 1:10.

Foram produzidas oito vigas divididas em dois grupos. O primeiro grupo eram vigas só de madeira

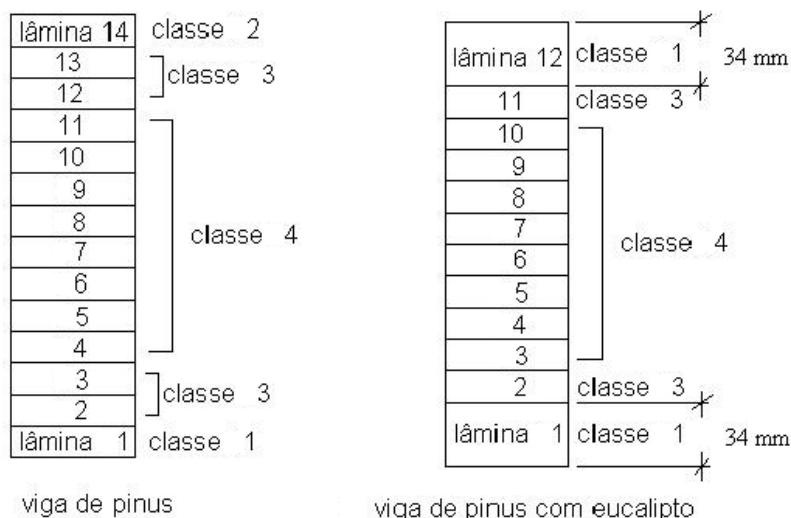
de pinus e o segundo grupo eram vigas de pinus com eucalipto. As vigas foram feitas com emendas em bisel nas lâminas abaixo do plano de simetria, e com emendas de topo, acima.

As vigas foram coladas com adesivo resorcinol

com taxa de espalhamento de 300 g/m<sup>2</sup>. O tempo médio desde o início da aplicação do adesivo até a prensagem da viga foi de aproximadamente 20 minutos.

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

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



Na prensagem das vigas, as lâminas com adesivo foram colocadas umas sobre as outras e a montagem da emenda longitudinal foi feita no momento da colagem, dispensando uma pré-colagem da emenda em separado, com exceção das vigas 11 e 12. Nestas vigas e nas lâminas de eucalipto, as emendas em bisel foram coladas separadamente e anteriormente à sua incorporação à seção transversal. Depois do bloco de lâminas de pinus ter sido colado, as lâminas de eucalipto foram incorporadas e coladas numa temperatura em torno de 30 graus centígrados. A pressão foi aplicada com auxílio de prensa construída com madeira de jatobá, que foi projetada segundo Carrasco (1989), para garantir a pressão desejada 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, de oito dias. Após este período, as vigas foram cortadas nos extremos e desengrossadas para largura final de 73 mm.

#### Testes das vigas

As vigas foram avaliadas quanto aos módulos de elasticidade teórico e experimental, e módulo de ruptura, procedendo-se também análise das fraturas. Para isso, foi utilizada uma máquina de ensaio universal com capacidade de 400 kN.



elasticidade teórico e experimental, assim como a rigidez, o módulo de ruptura e tensão do limite de proporcionalidade das oito vigas testadas. As vigas de 5 até 8 são feitas só com madeira de pinus e as vigas 9 até 12 de pinus com eucalipto (mistas). Os valores de módulo de ruptura das vigas fabricadas somente com madeira de pinus oscilam entre 51,6 MPa e 63,2 MPa, sendo a oscilação nas vigas mistas entre 57,2 MPa e 86,7 MPa. Observa-se que as vigas mistas apresentaram módulo de ruptura médio de 70,7 MPa contra 55,6 MPa das vigas de pinus, diferença esta que não foi significativa. Isto não revela que a colocação de uma lâmina de eucalipto não melhora a resistência das vigas. Observando-se a tabela 2 vê-se claramente, que as vigas 10 e 12 tiveram menores valores de resistência devido a problemas de adesão no processo de fabricação e montagem do elemento estrutural. Isto fica evidente pelo fato da diferença entre MOR e o limite de proporcionalidade ( $L_p$ ) das respectivas vigas ser praticamente inexistentes o que revela que as vigas romperam muito abaixo do seu potencial. A viga 10 foi confeccionada na época do inverno, com temperaturas baixas, o que dificultou a colagem da interface de pinus-eucalipto e a viga 12 apresentou problema de adesão numa emenda na interface das lâminas 3 e 4.

Os módulos de elasticidade experimental médio foram 18.382 MPa e 11.305 MPa, para as vigas mistas e de pinus, respectivamente, diferença esta

significativa. Observa-se que a simples utilização de lâminas de eucaliptos nos extremos das vigas melhora muito a rigidez, com aumento médio de 62,6%.

Também na tabela 2 observa-se que os valores dos módulos de elasticidades experimentais ( $E_e$ ) estão bem próximos dos valores teóricos ( $E_t$ ), com exceção das vigas 8 e 10. Estas maiores diferenças podem ser explicadas pelo possível erro de identificação ou de medição do módulo de elasticidade das lâminas individuais. Vê-se que a diferença média entre os modulo de elasticidade teórico e experimental para o grupo de vigas de pinus e mistas foram 4,1% e 3,5%, respectivamente. Observa-se ainda que estas diferenças não foram significativas, revelando que a formulação para estimativa do E teórico foi adequada.

Na tabela 3 estão os tipos de fraturas e suas localizações após a ruptura das vigas, com destaque para as lâminas mais extremas, assim como o módulo de ruptura. Nas figuras 2 e 3 estão desenhados os pontos de fratura e o seu caminamento. Estas figuras também mostram os pontos de aplicação de carga (setas verticais para baixo) e as linhas tracejadas representam o centro das vigas. Vale a pena destacar que entre as setas está a região de momento fletor máximo, com tensão normal máxima e constante nos extremos tracionados e comprimidos. As figuras também contêm as emendas e suas localizações.

Tabela 2. Informações gerais das vigas testadas.  
Table 2. General information of tested beams.

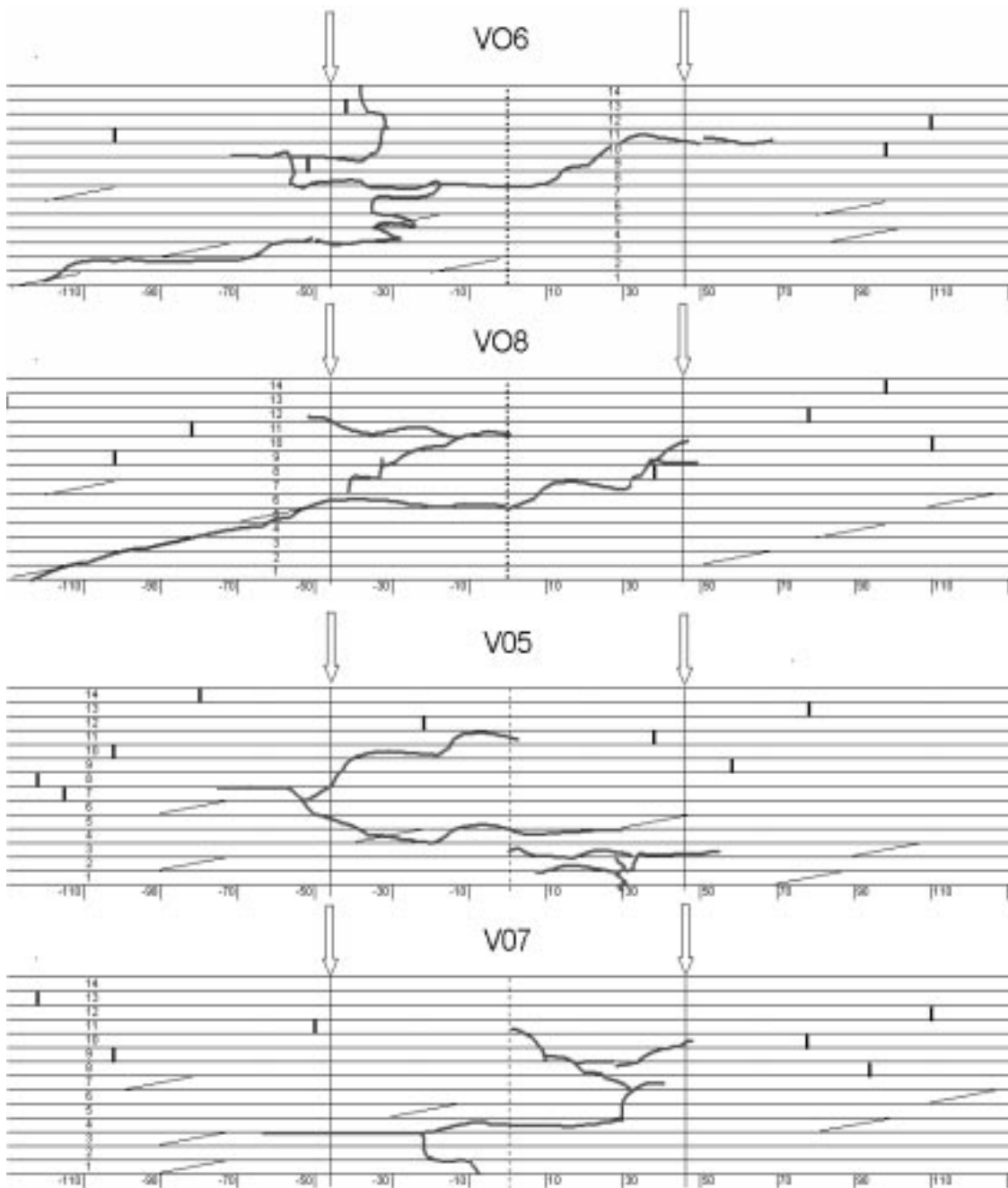


Figura 2. Fraturas das vigas com emendas de topo e bisel- madeira de pinus.  
 Figure 2. Fractures of beams with scarf and butt joint – pinus wood.

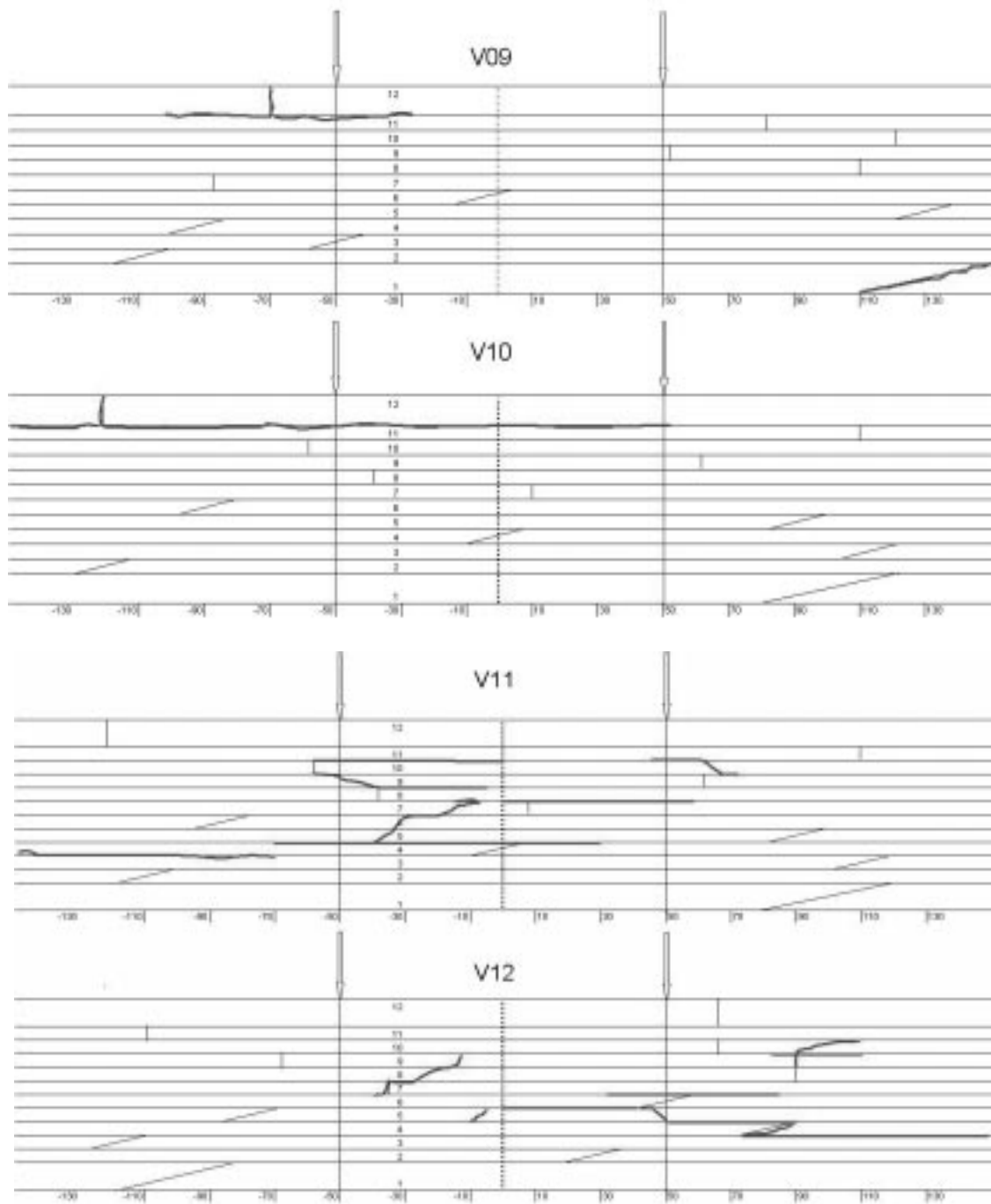


Figura 3. Fraturas das vigas com emendas de topo e bisel – madeira de pinus com eucalipto.  
Figure 3. Fractures of beams with scarf and butt joint- pinus and eucalypti wood.





## CONCLUSÕES

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

Nas vigas mistas feitas com madeira de pinus e eucalipto, a temperatura do ambiente, onde se processou a colagem das lâminas de eucalipto, mostrou efeito sobre a qualidade da mesma. As vigas onde a colagem das emendas da madeira de eucalipto foi feita separadamente, não apresentaram descolamento e nem ruptura por tração ou compressão e sim por cisalhamento na madeira de pinus.

A inclusão da madeira de *E. citriodora* permite atingir, para módulo de ruptura, até 86,7 MPa contra 63,2 MPa nas vigas de pinus, além de aumentar de 11.305 MPa para 18.382 MPa o módulo de elasticidade.

As equações utilizadas para determinar o módulo de elasticidade experimentalmente são 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. 61f. 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. 68f. 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*, Africa do Sul. 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... 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. 129f. 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. 120f. 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... 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.

NASCIMENTO, A.M.; DELLA LUCIA, R. M.; BAETA, F C. Comportamento de vigas retas em mlc com emendas de topo e bisel – parte I. Floresta e Ambiente. Seropédica. V. 9, n.1, p. 63-71, 2002.

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.