

QUADRO DE REAÇÃO EM MADEIRA – CONCEPÇÃO, ANÁLISES, DIMENSIONAMENTO E PROJETO

EDUARDO HENRIQUE STRINGARI^{1*}, ALFREDO PETRAUSKI²; SANDRA MARIA FERREIRA COURI PETRAUSKI³

¹Prof. Pesquisador, UNIOESTE, Cascavel-PR, eduardo.stringari@unioeste.br

²Dr. Pesquisador, UNIOESTE, Cascavel-PR, alfredo.petrauski@unioeste.br

³Dra. Pesquisadora, UNIOESTE, Cascavel-PR, sandra.petrauski@unioeste.br

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2016
29 de agosto a 1 de setembro de 2016 – Foz do Iguaçu, Brasil

RESUMO: Este trabalho trata da concepção, análise, verificação, mostra detalhes construtivos, e ilustra um Quadro de Reação em madeira laminada colada. O quadro de reação é uma estrutura auto-equilibrada de forma retangular que possibilita o ensaio de peças como pórticos, arcos, vigas e treliças, neste caso, em escala reduzida, com a aplicação de componentes hidráulicos e/ou mecânicos de carga. O projeto tem como requisito fundamental interferir pouco nas deformações sofridas pelas peças em teste, além de possuir capacidade de resistir aos esforços solicitantes. O quadro foi construído na Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE no Laboratório de Tecnologia e Estruturas de Madeira – LATEM. A técnica da Madeira Laminada Colada – MLC foi usada na feitura dessa estrutura de modo que todas as ligações entre as lâminas foram viabilizadas através de adesivo. A espécie escolhida para a condução do trabalho foi o Eucalipto e o quadro possui dimensões retangulares de 1,995 x 0,895 metros entre eixos. As barras das estruturas foram verificadas pelos critérios da norma brasileira e as soluções para as ligações foram adotadas a partir de metodologia não normalizada. A análise de carga foi tomada de acordo com a carga de ruptura que pode agir sobre o quadro. O valor encontrado para a carga máxima total de uso do quadro de projeto foi de 30 kN. Foi, então, construída uma unidade que está sendo utilizada para testes em estruturas em escala.

PALAVRAS-CHAVE: Quadro de reação, Estruturas, Madeira.

REACTION FRAME IN WOOD – CONCEPTION, ANALYSIS, DESIGN AND PROJECT

ABSTRACT: This paper deals with the design, analysis, verification, shows construction details, and illustrates a reaction frame in glued laminated timber. The reaction frame is a self-balanced structure in a rectangular form which allows the test parts as portico, arches, beams and lattices, in this case, in reduced scale, with the application of hydraulic components and / or mechanical load. The project's key requirement interfere little in the deformation suffered by the test pieces, besides having ability to withstand internal forces. The frame was built at the State University of West of Paraná - UNIOESTE in Technology Laboratory and Wood Structures - LATEM. The technique of Glued Laminated Timber - GLT was used in the making of this structure so that all links between the slides were made possible through adhesive. The species chosen for the conduct of the work was the Eucalyptus and the frame has rectangular dimensions of 1.995 x 0.895 meters wheelbase. The bars of the structures were verified by the criteria of the Brazilian standard and solutions to the links were taken from non-standard methodology. The load analysis was made according to the breaking load that may act on the framework. The value found for the total maximum load design table in use was 30 kN. It was then built a unit that is being used for testing scale structures.

KEYWORDS: Reaction Frame, Structures, Wood.

INTRODUÇÃO

Para dar suporte físico ao ensaio de estruturas de madeira, em escala reduzida, principalmente o ensaio de deslocamentos e de resistência de estruturas, foi construído, nas dependências do Laboratório de Tecnologia e Estruturas de Madeira – LATEM do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, um Quadro de Reação em madeira laminada colada. Trata-se de uma estrutura de forma retangular, com dimensões entre eixos de 199,5 cm x 89,5 cm com a finalidade de contribuir para fins acadêmicos no desenvolvimento de aulas práticas e pesquisas, com base no teste de peças como pórticos, arcos, vigas e treliças, e ainda, dinamizar as aulas e aumentar o interesse dos alunos pela área de pesquisa do LATEM. As propriedades do quadro são a de sofrer deslocamentos e deformações muito próximos de zero, para não influenciar nos testes de peças de madeiras sujeitas a esforços de tração e compressão, e assim dar condições de uma avaliação de flecha que represente o comportamento real da peça, além de resistir aos esforços solicitados nos testes. O presente trabalho trata de sua concepção, verificação e mostra detalhes de sua construção. Quadro similar já foi dimensionado em concreto armado por Petruski (2000) na Universidade Federal de Viçosa – UFV, e foi fundamental para a realização de estudos e desenvolvimento de teses.

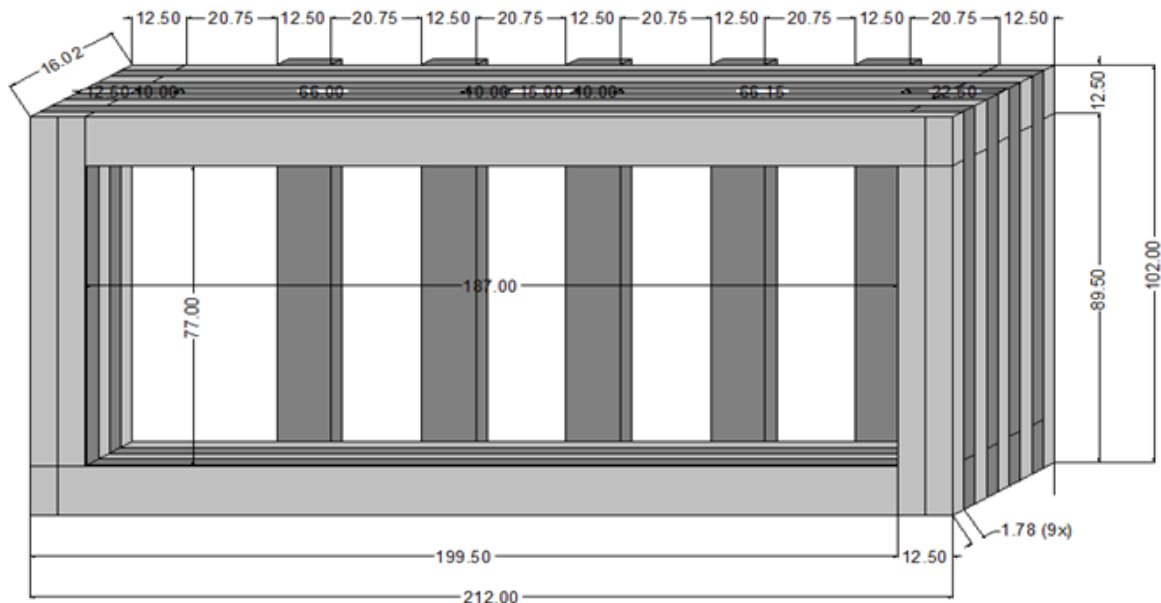
O quadro foi verificado após construção com o uso da técnica de madeira laminada colada obedecendo-se as recomendações da Norma de Projetos de Estruturas de Madeira NBR 7190 (1997). O interesse pela madeira colada incide no fato de que ela viabiliza a utilização de madeiras de reflorestamento de rápido crescimento e de madeiras de baixa a média massa específica, além de facilitar a execução de peças com dimensões elevadas, por dispensar o uso de grandes toras (TIENNE, 2006).

Uma das principais vantagens do uso de MLC como elemento estrutural é que pode ser fabricado com qualquer dimensão e forma, respeitados os procedimentos de cálculo da estrutura e, sobretudo, os detalhes construtivos.

MATERIAIS E MÉTODOS

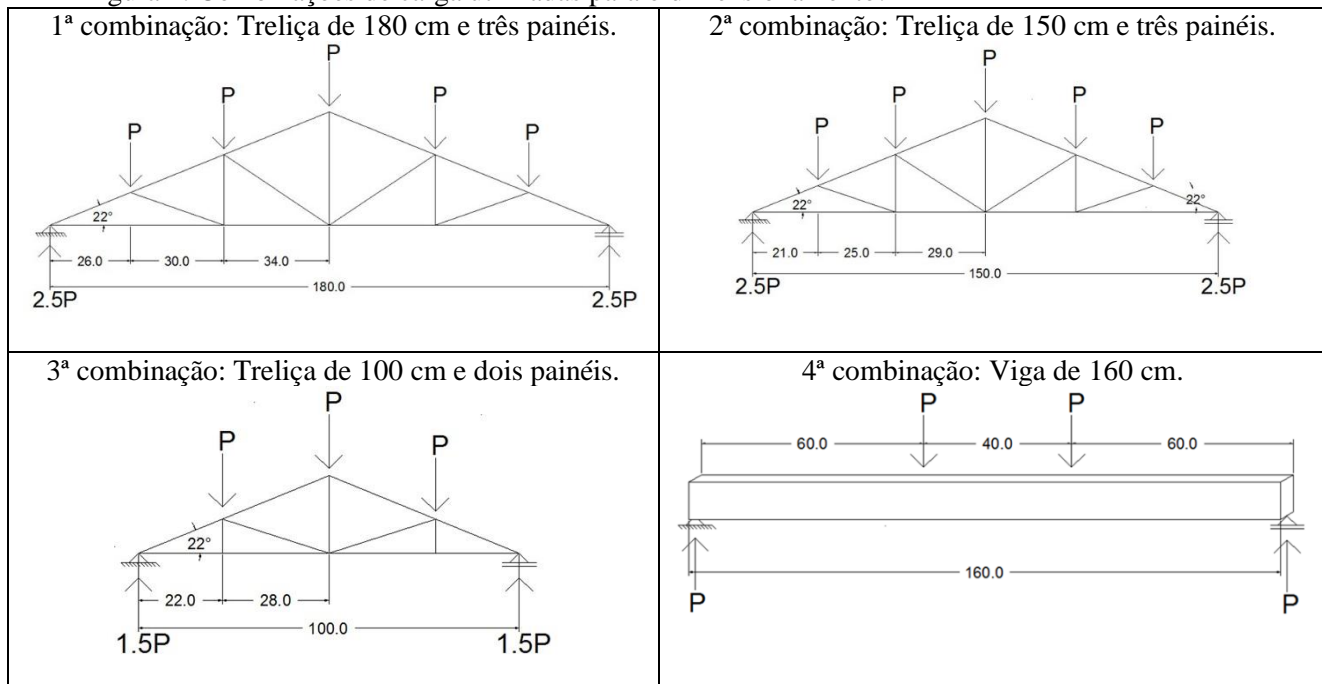
A estrutura consiste de um quadro retangular de madeira laminada colada, enrijecido por vigas. Pensou-se numa estrutura capaz de realizar ensaios em estruturas de madeira em escala reduzida da ordem de 1:5, com vão em torno de 8 metros de comprimento na escala real. O quadro foi idealizado preferencialmente para ensaios de tesouras de telhados, mas respeitadas as dimensões máximas, podem ser testados ainda pórticos, arcos, vigas e pilares. Além de suportar os esforços recebidos nos ensaios, o quadro é idealizado para sofrer menos de 10% da deformação das peças testadas, e assim, não influenciar significativamente nos resultados.

Figura 1. Configuração Geométrica do Quadro em MLC.



Para a verificação da resistência da madeira e da ligação utilizada no quadro, propôs-se a utilização de quatro combinações de cargas diferentes, com base no que se espera testar posteriormente, com ênfase no estudo do comportamento de treliças. As hipóteses escolhidas são as seguintes:

Figura 2. Combinações de carga utilizadas para o dimensionamento.



Para verificação do desempenho do quadro, quanto às ligações, quando solicitado pelas reações das estruturas em teste, optou-se por adotar um critério proposto por Couri Petruski (1999) e Petruski (2000), embasado na teoria da Resistência dos Materiais, por não haver um método normalizado para verificação de ligações coladas.

A verificação da estrutura baseou-se no fato de que a mesma, quando em uso, trabalhará em regime elástico. Desta forma, qualquer esforço E (momento fletor, esforço cortante, esforço normal ou mesmo um deslocamento) pode ser escrito como uma função linear da carga aplicada. Então, com o auxílio do Programa de Análises Estruturais Ftool, para cada uma das hipóteses de carga descritas anteriormente, foram geradas equações de regressão na forma $E = c1 \cdot P + c2$ (E = Esforço; P = Carga unitária aplicada ao quadro para uma dada hipótese de carga; $c1$ e $c2$ = constantes geradas pela variação da carga P). Como consequência, pode-se resolver para qual carga P se esgotará a capacidade resistente do Quadro, em uma dada posição, para uma determinada verificação (resistência à flexão, flexo-compressão, flexo-tração, cisalhamento, resistência da ligação ou até mesmo uma flecha).

Assim, por exemplo, se $M = 7.595 \cdot P - 4.2$ para um valor de $P = 1000$ kgf, o valor do momento fletor M atuante numa dada seção será $M = 7590,80$ kgf.cm. Este valor foi adequadamente majorado para tornar-se “valor de cálculo” de modo a ser utilizado nas verificações próprias exigidas pela NBR 7190:1997 ou naquelas não normalizadas, porém, adaptadas às exigências de segurança da norma. Como consequência, a cada verificação realizada obtém-se o máximo valor de P que pode ser utilizado em serviço, sem prejuízo dos critérios de segurança normalizados. Ainda, por exemplo, se para uma dada hipótese agirão cinco cargas P no quadro, a capacidade máxima do quadro será $5 \times P$. Este valor compreenderá, para aquela verificação, o limite recomendável para o seu uso. Então, embora não se consiga “antever” todas as possíveis utilizações, acredita-se que as hipóteses consideradas indiquem com precisão razoável a capacidade do Quadro executado e à disposição da Unioeste.

Para a região colada nos cantos não há garantia da união entre as lâminas, no sentido de dizer que todas as 9 peças estarão resistindo aos efeitos que a madeira estará sujeita, por isso, considerou-se que sempre serão 4 lâminas que estarão resistindo aos esforços nessa região, conforme a figura a seguir:

Figura 3. Detalhe da Ligação do Canto do Quadro.

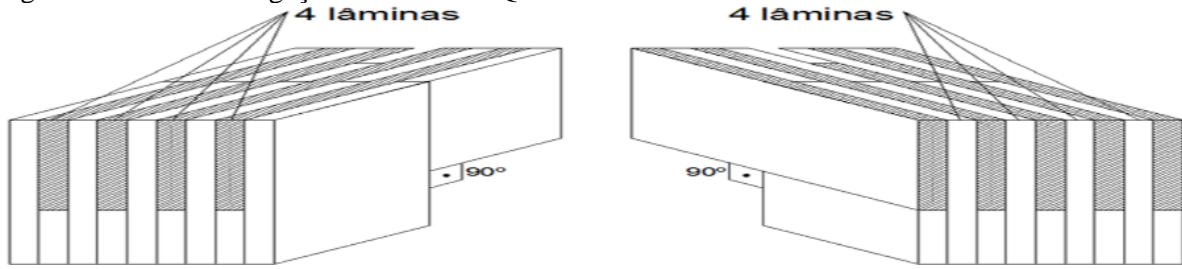


Figura 4. Planilha para verificação da ligação e esforços solicitantes.

PLANILHA PARA VERIFICAÇÃO DA LIGAÇÃO E ESFORÇOS SOLICITANTES		
Madeira		
fco, k =	400	kgf/cm ²
Eco, m =	163849	kgf/cm ²
fvo, k (cola) = (torção)		kgf/cm ²
ftor90, k (cola) = (torção)	100.6	kgf/cm ²
fvo, k (cola) = (compressão)	137.2	kgf/cm ²
fv90, k (cola) = (compressão)	56.5	kgf/cm ²
Segurança:		
kmod1 =	0.9	
kmod2 =	1	
kmod3 =	0.8	
Gama comp. =	1.8	
Gama torç. =	1.8	
Gama comp. Madeira =	1.4	
Ligação		
n° de planos colados =	4	
raio =	6.25	cm

Valores de cálculo	
ftor 90, d =	40.24 kgf/cm ²
fv90, d =	22.6 kgf/cm ²
P =	1000 kgf
M =	kgf.cm
fco, d =	205.7143 kgf/cm ²
fv0, d (madeira) =	20.57143 kgf/cm ²

Funções	
Md =	10100 kgf.cm
Qd1 =	1100 kgf
Nd1 =	2100 kgf
Qd2 =	
Nd2 =	

Área Disponível total por plano =	156.25	cm ²
Área Disponível para o fletor =	122.7185	CM ²

Área necessária ao momento fleor =	36.71178	cm ²
Raio necessário ao fletor =	3.418438	cm
Área necessária à Cortante =	12.16814	cm ²
Área necessária ao Normal =	23.23009	cm ²
Área Total necessária =	72.11001	cm ²

Com base nas equações e nas cargas máximas verificadas para cada situação, pode-se construir uma tabela que representa os diferentes valores de $P_{m\acute{a}x}$ correspondente aos fenômenos estudados, conforme a tabela 01 em Kgf:

Tabela 1. Resumo das cargas máximas encontradas nas diferentes hipóteses estudadas:

	P (1ª Hipótese)	P (2ª Hipótese)	P (3ª Hipótese)	P (4ª Hipótese)
Ligação				
Ligação colada do Quadro	3105.11	4478.64	16525.4	8198.94
Ligação colada das tábuas	1103.833	1134.107	1832.688	2472.34
Madeira				
Flexo-compressão barra horizontal	1552.461	1851.948	3272.041	3107.911
Flexo-tração barra vertical	2035.844	2998.705	11196.48	5508.213
Cisalhamento banzo inferior	1168.9	926.08	1719.71	2468.3
Cisalhamento banzo superior	1124.08	1360.97	1562.62	2204.91
Cisalhamento barra vertical	3976.296	2746.095	22235.59	10417.66
Flexo-compressão ligação	958.117	1396.37	5020.50	2529.85
Cisalhamento ligação horizontal	1060.64	2283.37	36109.9	4888.95
Cisalhamento ligação vertical	6386.79	8082.69	19403.6	2529.13
Flexo-tração tábuas	797.298	905.006	1742.43	1835.24
Cisalhamento tábuas	1596.81	2020.67	4850.9	3698.95

Para a análise das deformações encontradas, foi utilizado o valor máximo que cada hipótese estaria resistindo. Porém, percebe-se que pela experiência de trabalho com peças em escala reduzida, as peças testadas já estariam rompidas para esse valor de carga mínimo.

Tabela 2. Resumo das deformações encontradas nas diferentes hipóteses estudadas:

	Deformação na Peça	Deformação no Quadro	Relação entre deformações (%)
1ª Hipótese	21,36 mm	1,559 mm	7,3 %
2ª Hipótese	15,06 mm	1,492 mm	9,9%
3ª Hipótese	11,11 mm	1,065 mm	9,6 %
4ª Hipótese	41,92 mm	1,718 mm	4,0 %

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O objetivo traçado, de dispor o LATEM de um Quadro de Reação de pequeno porte e em condições de auxiliar no desenvolvimento de aulas práticas e pesquisas, especialmente, para a área de estruturas de madeira, foi satisfeito.

Para prevenir um rompimento precoce do quadro por questões de fadigas, resolveu-se diminuir a magnitude do carregamento para 75% da carga, logo, as cargas máximas que podem ser aplicadas no quadro de reação para a realização de pesquisas são:

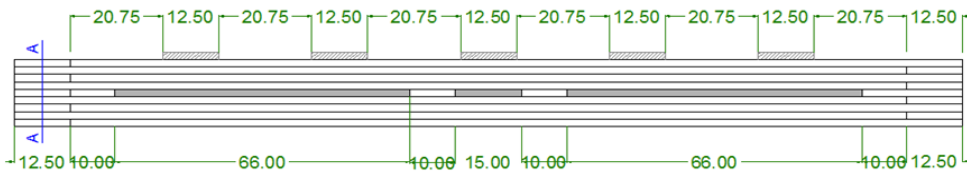
Para a aplicação de 5 cargas na vertical (ex: Treliça de três painéis) $P = 797 * 0.75 \cong 600$ Kgf
Logo, o Quadro suportará uma carga Q total = 3000 Kgf.

Para a aplicação de 3 cargas na vertical (ex: Treliça de dois painéis) $P = 905 * 0.75 \cong 675$ Kgf
Logo, o Quadro suportará uma carga Q total = 2025 Kgf.

Para a aplicação de 2 cargas na vertical (ex: Viga) $P = 1562 * 0.75 \cong 1375$ Kgf
Logo, o Quadro suportará uma carga Q total = 2750 Kgf.

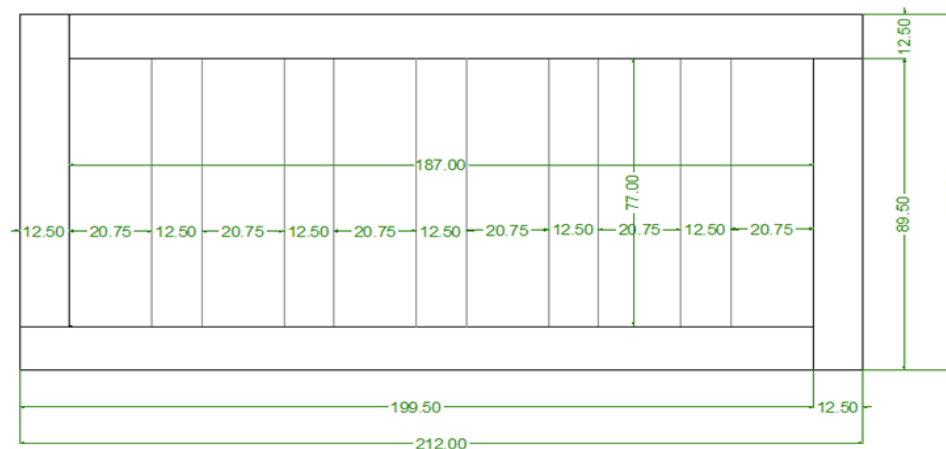
Segue então, um detalhamento do quadro construído e verificado:

Figura 5. Projeto Detalhado para Construção:



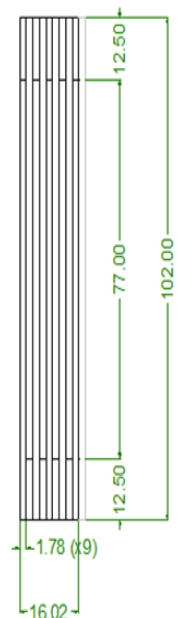
PLANTA BAIXA

SEM ESCALA



ELEVAÇÃO FRONTAL

SEM ESCALA



CORTE AA

SEM ESCALA

Depois de dimensionado o quadro foi devidamente construído e instalado nas dependências do LATEM na UNIOESTE, confirmando os dados de projeto, e que está sendo utilizada para testes em estruturas em escala reduzida, conforme a figura a seguir:

Figura 6. Quadro de Reação em Madeira Laminada Colada:



CONCLUSÃO

A partir do trabalho realizado, pode-se concluir que a técnica da madeira laminada colada, mesmo que fora do padrão de norma, nesse caso com a colagem a 90°, traz um resultado positivo na verificação e construção de estruturas de madeira, sobretudo, pela trabalhabilidade do elemento, e pelo benefício de poder escolher a configuração geométrica que mais satisfaz as necessidades do projeto.

Conforme as análises prévias da necessidade de carga para o teste de estruturas em escala reduzida, pode-se afirmar, que o valor encontrado para a carga máxima que o quadro estará resistindo (30 KN) é satisfatória. Além disso, o quadro apresentou uma baixa taxa de deformação, o que é imprescindível nesse trabalho.

Portanto, essa estrutura traz à UNIOESTE, a oportunidade de seus acadêmicos aprimorarem os seus conhecimentos, principalmente, na área de estruturas de madeira, e aparece como alternativa para a dinamização das aulas práticas de diversas disciplinas.

REFERÊNCIAS

- ___NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.
- Couri Petruski, S. M. F. Desenvolvimento e teste de pórticos treliçados feitos de madeira de *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus grandis* laminada e colada. 1999. 129p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.
- Petruski A. Comportamento de Ligações Adesivas e Avaliação Experimental de Tesouras de Telhados Feitas de Laminado Colado em Madeira de *Eucalyptus grandis*. Viçosa. UFV. 2000 129p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 2000.
- Tienne, D. L. C. Qualidade da adesão de juntas coladas expostas a condição de serviço externo e interno. Seropédica. UFRRJ. 2006 68p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2006.