III SIMPÓSIO DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA
7 e 8 Novembro 2012

ANÁLISE DO APROVEITAMENTO DE SOBRAS DE RIPAS DE CAMBARÁ PARA FABRICAÇÃO DE VIGAS LAMINADAS PARAFUSADAS

Adilson Ramão Ferreira [1]

Kathleen Dall Bello Souza [2]

Everaldo Pletz [3]

RESUMO

Paralelo à busca por soluções ao gerenciamento dos resíduos gerados durante os processos de beneficiamento da madeira, uma das tendências do setor madeireiro é o desenvolvimento de peças melhoradas, que visam diminuir possíveis defeitos e agregar valor comercial as peças menores. Nesse contexto, a partir da verificação na empresa Centrão Madeiras, em Foz do Iguaçu/PR de uma grande quantidade de sobras de ripas de madeira da espécie Cambará, o presente estudo tem como objetivo analisar experimentalmente a viabilidade estrutural de modelos de vigas laminadas parafusadas simulando o uso dessas sobras. Dessa forma, inicialmente montaram-se nove vigas laminadas parafusadas, compostas cada uma por seis lâminas (ripas) de madeiras inteiras que foram parafusadas respeitando os espaçamentos prescritos na ANBT NBR 7190:1997. Após o ensaio de flexão até a ruptura da viga (CP0), realizou-se o ensaio de flexão nas demais. Na sequência desparafusaram-se as demais vigas cortando as 4 ripas internas de formas diferentes: as vigas CP1 a CP4 foram parafusadas com (1) uma e (2) duas emendas de topo enquanto as vigas CP5 a CP8 com 2 (duas) e 3 (três) emendas de topo. Da mesma forma realizaram-se os ensaios de flexão nessas vigas. Comparando-se os resultados, pode-se afirmar que a escolha pelo sistema das vigas com o aproveitamento de sobras de madeira com uma e duas emendas de topo apresentou módulo de elasticidade maior que os demais modelos de vigas. Assim, a metodologia sugerida atende ao objetivo de formar peças estruturais com sobras de madeira de dimensões pequenas e variadas que seriam descartadas. Entretanto é conveniente fazer a caracterização das sobras utilizadas conforme ANBT NBR 7190:1997, bem como realizar mais ensaios laboratoriais, para garantir a confiabilidade do sistema estrutural.

Palavras-chave: Madeira laminada parafusada. Madeiras transformadas. Ensaio de Flexão.

[1] União Dinâmica de Faculdades Cataratas – UDC, adilson_rf74@hotmail.com.
[2] Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Paraná – IFPR, kathleen.souza@ifpr.edu.br
[3] União Dinâmica de Faculdades Cataratas – UDC, pletz@udc.edu.br

1. INTRODUÇÃO

A madeira devido a sua disposição na natureza, facilidade no seu manuseio, excelente relação resistência/peso, entre outras características, pode ser considerada de acordo com Pfeil e Pfeil (2003) como o material mais antigo utilizado na construção civil.

Freitas (2000) afirma que as indústrias madeireiras aproveitam em média de 30% a 60% da tora, e de acordo com Santos (2009) as sobras precisam ser direcionadas adequadamente para uma cadeia de produção, pois são nocivas ao meio ambiente como qualquer outro material.

Quirino (2003) define essas sobras, que não são utilizadas no processo de produção ou exploração como resíduo. Na Figura 1 podem ser observados os tipos de resíduos gerados em cada etapa do beneficiamento da madeira.

Figura 1 - Produção da madeira e descrição dos resíduos gerados
Fonte: GONÇALVES e RUFINO (1989)

Devido aos custos com o manejo e disposição em lugar adequado e por serem causadores de contaminação ambiental, os resíduos gerados pela indústria madeireira, são considerados por Conaf (1995) como um dos maiores problemas no setor florestal.

Segundo Valle (1995 apud SAVASTRANO JUNIOR 2000) um material somente deixará de ser considerado um resíduo quando o mesmo agregar um valor econômico, ou seja, for matéria-prima para outros produtos de possível comercialização.

Para Silva (2010) a tendência do mercado é o desenvolvimento de peças com madeiras transformadas, ou seja, aquelas compostas por resíduos ou sobras de peças de madeira de tamanhos pequenos e variados que tecnicamente seriam descartadas, como é o caso das madeiras que passam por processo de desfibramentos, e assim por diante.

Nesse contexto, a partir da verificação na empresa Centrão Madeiras, em Foz do Iguaçu-PR de uma grande quantidade de sobras de ripas de madeira da espécie Cambará com comprimentos diversos e inferiores aos comercializadas no setor da construção civil, o presente estudo tem como objetivo analisar experimentalmente a viabilidade estrutural de dois modelos de vigas laminadas parafusadas simulando o uso dessas sobras, e comparar com as vigas laminadas parafusadas compostas por todas as lâminas inteiras. O tema se justifica pela possibilidade de agregar valor econômico a pedaços de madeira que normalmente não são utilizadas nem comercializadas na empresa.

A escolha pelas vigas laminadas parafusadas baseia-se na consideração realizada por Ferranini (1989), em que a substituição da cola pela pregagem como meio de união das lâminas reduz o custo da produção da peça.

Porteous e Kermani (2007) explicam que as madeiras laminadas podem funcionar como vigas ou colunas, sendo submetidas a combinações no carregamento e por isso deve ser realizada uma classificação das madeiras que constituem as lâminas.

Dessa forma, Bodig e Jayne (1982 apud TEREZO e SZÜCS 2010) orientam a colocação de lâminas com maior qualidade no terço superior e inferior das vigas (onde há mais solicitação) e as de qualidade inferior no terço interior das mesmas.

Porteous e Kermani (2007) complementam orientando que nas lâminas exteriores, é interessante utilizar madeiras com a mesma resistência, mesma espécie ou combinações de espécies de forma que pelo menos um sexto da profundidade em ambos os lados esteja com esse material, conforme indicado na Figura 2. Nas lâminas internas podem ser utilizadas madeiras com diferentes resistências e espécies.

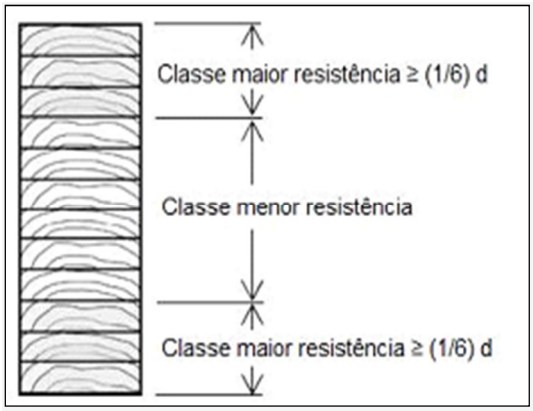

Figura 2- Combinado de madeira laminada
Fonte: Porteous e Kermani (2007)

Com respeito às ligações mecânicas das peças das madeiras, segundo a ABNT NBR 7190:1997 podem ser feitas por: pinos metálicos (pregos ou parafusos), cavilhas (pinos de madeira torneados) ou conectores (constituído por anéis metálicos, chapas metálicas com dentes ou outros), e serão seguidas as prescrições contidas na mesma para o dimensionamento das ligações.

2. DESENVOLVIMENTO

A pesquisa dividiu-se em três fases distintas, a primeira engloba a coleta das ripas no depósito da empresa e a escolha dos elementos de ligação das mesmas; a segunda fase por sua vez, compreende a preparação das amostras, que vai desde a padronização de tamanho até marcação, furação e colocação das ligações parafusadas e por fim na terceira e última fase a realização dos ensaios de flexão nas vigas, dos quais foram obtidos os resultados para análises e conclusões.

De forma esquemática, a Figura 3 a seguir mostra as fases da pesquisa que posteriormente serão descritas, mostrando como foi conduzido o trabalho.

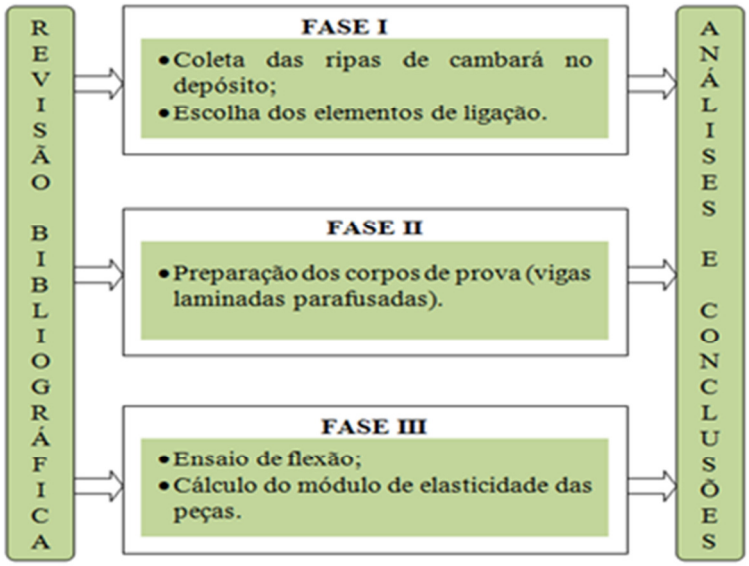

Figura 3 – Fluxograma geral da pesquisa
Fonte: Autores (2012)

2.1 Fase I

Utilizou-se madeira da espécie cambará (Qualea spp. Vochysiaceae), de densidade média e moderadamente dura ao corte. Coletaram-se no depósito da empresa 54 ripas de cambará aleatoriamente, sem nenhuma classificação visual, com dimensões aproximadas de 0,02 x 0,07 x 3,00 metros cada.

Cabe ressaltar que devido a ser um ensaio comparativo coletaram-se ripas com aproximadamente três metros de comprimento para posteriormente serem cortadas simulando peças de menor comprimento não utilizadas na empresa. No total fabricaram-se nove corpos-de-prova, com seis lâminas cada uma, nomeados CP0, CP1, CP2, CP3...CP8.

Utilizou-se como elemento de ligação 45 barras de parafusos de aço nas dimensões 10 mmx1000mm, que foram cortadas em seis pedaços, totalizando 270 barras com 0,16 m cada.

2.2 Fase II

Com as ripas de cambará já coletadas, iniciou-se o processo de preparação das mesmas para montagem das vigas laminadas parafusadas. Conforme pode ser visualizado na Figura 4, todas as ripas foram levadas a uma bancada para o desempenamento e em seguida foram aplainadas. Na sequência as pontas das ripas foram esquadrejadas, de forma que todas ficassem com 3 metros de comprimento.

Figura 4 – Desempenamento e aplainamento das ripas
Fonte: Autores (2012)

Para a montagem dos corpos-de-prova com peças inteiras de 3 metros, adotou-se o seguinte procedimento:

Sabendo-se que entre as lâminas de madeira a resistência ao cisalhamento é paralela às fibras e devido às mesmas tracionarem de forma diferente as solicitações de flexão (face superior de cada ripa desliza com a face inferior da ripa imediatamente acima) utilizou-se o espaçamento mínimo prescrito pela ABNT NBR 7190:1997 em ligações com pinos (pregos com pré-furação, parafusos e cavilhas), que entre o centro de dois pinos situados em uma mesma linha paralela à direção das fibras: pregos, cavilhas e parafusos afastados é 6d; e para parafusos 4 d; onde d é o diâmetro. Assim, conforme os espaçamentos demonstrados na Figura 5 fez-se a marcação dos furos nas ripas.

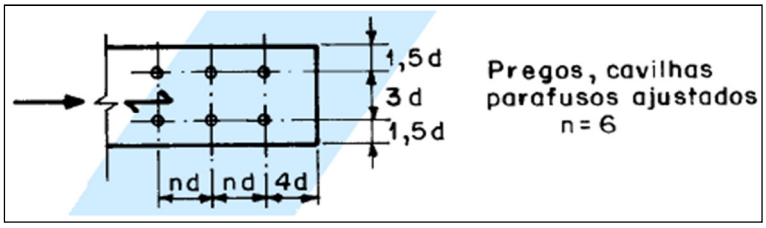

Figura 5- Espaçamento em ligações com pinos adotados
Fonte: ABNT NBR 7190: 1997

Com as marcações prontas, as ripas foram fixadas por sargentos, para furação com uma broca de 10mm, conforme pode ser visualizado na Figura 6.

Figura 6- Furação dos corpos-de-prova
Fonte: Autores (2012)

Na sequência fixaram-se os parafusos com porcas e arruelas, totalizando 30 parafusos, 60 porcas e 60 arruelas.

Para simulação do uso de peças curtas, consideradas sobras para a empresa, seguiu-se a seguinte metodologia:

Desparafusaram-se as vigas e realizaram-se cortes das ripas internas, formando peças de 0,50m, 0,75m, 1,00m, 1,25m, 1,50m, 2,00m, da seguinte forma: Os corpos-de-prova 1, 2,3 e 4 receberam cortes de (1) uma e (2) duas emendas de topo, na mesma ripa, conforme Figura 7.

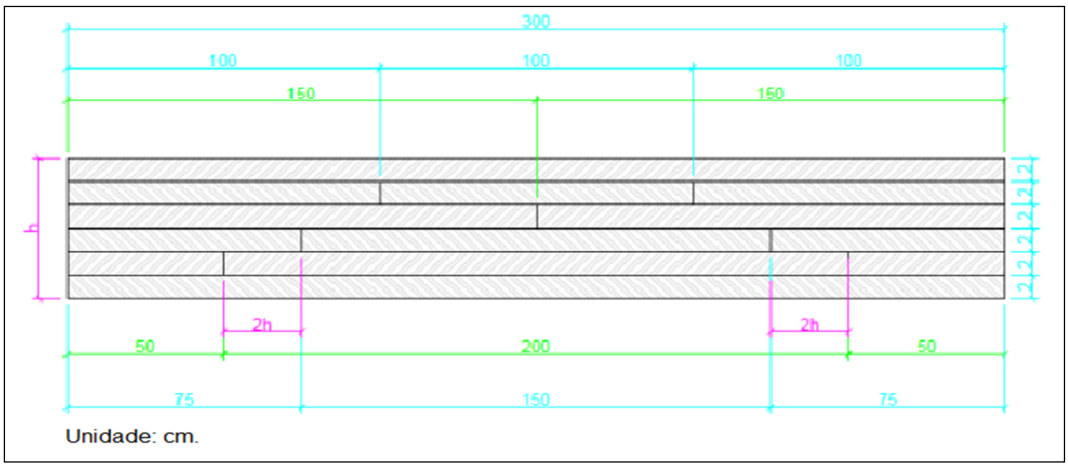

Figura 7- Corpo-de-prova com corte de 1 e 2 emendas de topo na longitudinal
Fonte: Autores (2012)

Os outros 4 (quatro) corpos-de-prova (5,6,7 e 8) foram cortados com 2 (duas) e 3 (três) emendas de topo nas ripas internas, conforme pode ser observado na Figura 8.

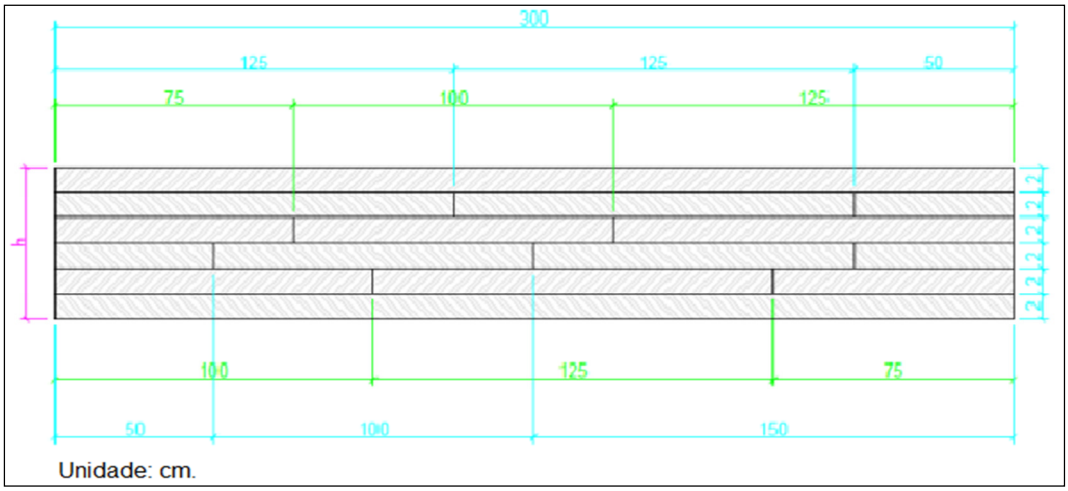

Figura 8 – Corpo-de-prova com corte de 2 e 3 emendas de topo nas ripas internas
Fonte: Autores (2012)

Finalizando essa fase, cabe ressaltar que o corpo-de-prova zero (CP0) será utilizado para realizar o ensaio de flexão até a ruptura da viga, e o valor obtido será utilizado como referência na aplicação das forças no ensaio de flexão nas demais vigas (10% e 50%).

2.3 Fase III

2.3.1 Ensaio de flexão

O ensaio de flexão foi realizado no corpo-de-prova zero (CP0) com uma força de 11.1183,4N até sua ruptura, conforme pode ser visualizado na Figura 9.

Figura 9- Ensaio de flexão no corpo-de-prova zero (CP0)
Fonte: Autores (2012)

O ensaio de flexão nos demais corpos-de-prova seguiu o seguinte roteiro:

Com a aplicação das forças correspondentes a 10 e 50% do valor da ruptura encontrado no ensaio do corpo-de-prova zero (CP0), ou seja, 1.118,34N e 5.591,7N calculou-se a rigidez da madeira à flexão, que é caracterizada pelo módulo de elasticidade, determinado no trecho linear do diagrama força x deslocamento, conforme Figura 10.

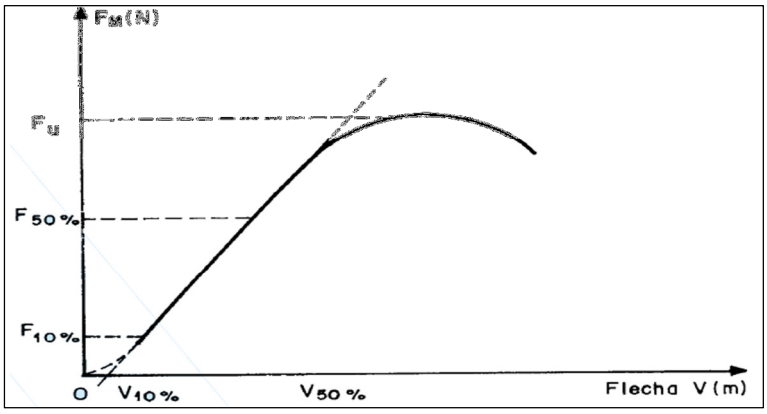

Figura 10- Diagrama carga x flecha na flexão
Fonte: ABNT NBR 7190:97

Assim, analisando a Figura 11, o módulo de elasticidade (E_{M0}) foi determinado pela inclinação da reta secante à curva força x deslocamento no meio do vão, definida pelos pontos ($F_{10\%}$; $V_{10\%}$) e ($F_{50\%}$; $V_{50\%}$) correspondentes, respectivamente, a 10% e 50% da força máxima de ensaio estimada por meio de um corpo-de-prova gêmeo, conforme a Equação (1):

$$E_{M0} = \frac{(F_{M,50\%} - F_{M,10\%})L^3}{(V_{50\%} - V_{10\%})4bh^3} \quad (1)$$

Em que:

E_{M0}: Módulo de elasticidade paralelo às fibras, em Newton por metro quadrado;

$F_{M,\,10\%}$ e $F_{M,\,50\%}$: cargas correspondentes a 10% e 50% da carga máxima estimada, aplicada ao corpo de prova, em Newton;

$V_{10\%}$ e $V_{50\%}$: deslocamentos no meio do vão correspondentes a 10% e 50% da força máxima estimada $F_{M,\,est.}$, em metros; b e h correspondem, respectivamente, à largura e à altura da seção transversal do corpo-de-prova, em metros.

Cabe ressaltar, que o ensaio foi realizado conforme as prescrições contidas na ABNT NBR 7190:97, respeitando a distância entre os apoios (menor que 21h) e aplicando a força no centro da peça.

Na Figura 11 pode ser visualizado como se realizou o ensaio de flexão da viga com ripas inteiras, e posteriormente a verificação da flecha (deslocamento) com aplicação de $F_{M,10\%}$.

Figura 11 - Ensaio de flexão e verificação da fecha
Fonte: Autores (2012)

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após o ensaio de flexão, com a leitura do deslocamento do relógio após a aplicação de $F_{M,10\%}$ e $F_{M,50\%}$, e com as dimensões da viga: altura h (0,12m), largura b (0,07m) e comprimento L (3,0 m), substituiu-se os valores na Equação 1 e calculou-se o Módulo de elasticidade E_{M0}, conforme pode ser verificado na Tabela 1.

Tabela 1 – Cálculo do módulo de elasticidade dos corpos-de-prova

VIGAS COM RIPAS INTEIRAS				VIGAS COM RIPAS EMENDADAS			
CP	Deslocamento do relógio (mm)		E_{M0} (MPa)	CP	Deslocamento do relógio (mm)		E_{M0} (MPa)
	$V_{10\%}$	$V_{50\%}$			$V_{10\%}$	$V_{50\%}$	
1	245	234	13451	1	245	235	14796
2	240	227	10960	2	236	223	11381
3	255	242	11381	3	254	240	10568
4	260	247	11381	4	244	231	11381
5	244	230	10568	5	229	214	9864
6	254	243	13451	6	240	228	12330
7	249	233	9247	7	225	209	9247
8	247	234	11381	8	222	203	7787

Fonte: Autores (2012)

Analisando a Tabela 1, chegaram-se aos seguintes considerações:

- O módulo de elasticidade das vigas que receberam nas ripas internas cortes de (1) uma e (2) duas emendas de topo, que são os corpo-de-prova 1,2,3 e 4 apresentaram módulo de elasticidade médio maior que as vigas produzidas com ripas inteiras e as produzidas com cortes de 2 (duas) e 3 (três) emendas de topo nas ripas internas, respectivamente com os valores: 12.031,5MPa, 11.478 MPa e 9.807MPa.

- O módulo de elasticidade das vigas com cortes de (2) duas e (3) três emendas de topo nas ripas internas possuem valor 15% inferior ao valor do módulo de elasticidade das vigas sem emendas.
- O baixo módulo de elasticidade do CP8 com ripas emendadas (7.787 MPa) justifica-se pela ruptura da peça no ensaio da flexão, devido à falta de classificação das peças, conforme já descrito anteriormente.

4. CONCLUSÃO

Diante dos resultados, pode-se afirmar que a escolha pelo sistema das vigas com o aproveitamento de sobras de madeira com uma e duas emendas de topo apresentou módulo de elasticidade maior que o sistema utilizando ripas inteiras. Sendo assim, a metodologia sugerida atende ao objetivo de formar peças estruturais com sobras de madeira de dimensões pequenas e variadas que seriam descartadas. Entretanto é conveniente fazer a caracterização das sobras utilizadas conforme ANBT NBR 7190:1997, bem como realizar mais ensaios laboratoriais, para garantir a confiabilidade do sistema estrutural.

REFERÊNCIAS

ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR 7190:** Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.

CONAF. P. A. **Combustible del futuro.** Revista Chile Forestal. n.53.Santiago, 1995. p.5-7.

FERRANINI, M. F. **Projeto e construção de passarela com arco de madeira.** Revista Téchne 89. Agosto de 2004. Disponível em: <http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/89/imprime32782.asp >. Acesso em 12 de abril de 2012.

FREITAS, L. C. **A baixa produtividade e o desperdício no processo de beneficiamento da madeira: um estudo de caso.** Dissertação (Mestre em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2000.

GONÇALVES, M. T. T. & RUFFINO, R. T. **Aproveitamento do Resíduo Gerado na Indústria Madeireira.** III EBRAMEM - Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. Anais. USP – EESC. São Carlos, SP. 1989. p 129 à 140.

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de madeira.** 6ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003. 224p.

PORTEOUS, J.; KERMANI, A**. Projeto de madeira estrutural com o Eurocódigo 5.** Malden: Blackwell Science Ltda, 2007. 542p.

QUIRINO, W. F. **Utilização energética de resíduos vegetais.** Laboratório de produtos Florestais-LPF/IBAMA. Brasília, 2003. Disponível em: <http://www.mundoflorestal.com.br/arquivos/aproveitamento.pdf>. Acesso em 04 de abril de 2012.

SANTOS, M. P. **Fabricação de solo-cimento com adição de resíduos de madeira provenientes da construção civil.** 2009. 108f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil)- Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2009.

SAVASTRANO JUNIOR, H. **Materiais a base de cimentos reforçados com fibra vegetal: reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo.** Tese apresentada a Concurso de Livre-Docência. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.

SILVA, C.C. **Análise teórica e experimental de vigas de madeira de seção transversal I para uso em fôrmas para concreto.** 2010. 98f. Dissertação (Mestrado-Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de são Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

TEREZO, R. F.; SZÜCS, C. A. **Análise de desempenho de vigas em madeira laminada colada de parica (Schizolobium Amazonicum Huber ex. Ducke). Revista** Scientia Forestalis. v.28. nº 87. Piracicaba, 2010. p.471-480. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr87/cap14.pdf >. Acesso em 11 de abril de 2012.