

Cruzetas de Madeira Laminada Colada produzidas a partir de madeira de reflorestamento

Pedro Gutemberg de Alcântara Segundinho, Carlito Calil Neto, Cláudio José dos Santos, Antonio Alves Dias, Carlito Calil Junior

Resumo – Este projeto tem como objetivo aprimorar diversas etapas do desenvolvimento de novas tecnologias em madeiras laminadas coladas aplicadas à fabricação de cruzetas de madeira para utilização em rede de distribuição de energia iniciadas no projeto de P&D desenvolvido através da parceria entre a EESC/USP e a Companhia Paulista de Força e Luz, o PD120, de modo a maximizar os processos produtivos e definir os pontos de controle de qualidade na fabricação de cruzetas de MLC. Nesse contexto se faz necessário o desenho mais apurado das etapas produtivas por meio de conceitos alicerçados com base nas engenharias de produto e indústria. As etapas deste projeto abrangem fundamentalmente o processo de fabricação tanto em nível de equipamentos como de adequação para um processo industrializado. A partir desta otimização são avaliados o desempenho das cruzetas de MLC em condições emuladas às condições reais de uso.

Palavras-chave – Madeira laminada colada (MLC), cruzetas de MLC, madeira de reflorestamento.

I. INTRODUÇÃO

A Madeira Laminada Colada (MLC) é um produto enge-nheirado de madeira que requer precisão de fabricação em todos os seus estágios. O produto acabado pode somente ser testado em condições laboratoriais, portanto é necessário o controle de qualidade na produção para assegurar que as propriedades físicas da MLC sejam adequadas com aquelas especificadas nas normas vigentes, conforme (CAN/CSA 0177, 2006).

As lâminas, unidas por colagem, ficam dispostas de modo que suas fibras estejam paralelas entre si (BODIG e JAYENE, 1982). Segundo Szücs (2006), a técnica de produzir MLC com peças de *Pinus sp*, nasceu da necessidade de empregar madeira de reflorestamento, dada sua disponibilidade e sua fácil trabalhabilidade. Também, trata-se de forma racional de emprego da madeira na construção de estruturas.

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica regulado pela ANEEL e consta dos Anais do VI Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (VI CITENEL), realizado em Fortaleza/CE, no período de 17 a 19 de agosto de 2011.

Este trabalho teve apoio financeiro integral da CPFL Energia através do projeto Cabeça de Serie da Cruzeta Verde de MLC código ANEEL P&D 220-09.

Pedro Gutemberg de Alcântara Segundinho, Carlito Calil Neto, Antonio Alves Dias, Carlito Calil Junior trabalham no LaMEM/SET/EESC/USP (e-mails: p_gutemberg2001@yahoo.com.br; netounesp@gmail.com; dias@sc.usp.br; calil@sc.usp.br).

Cláudio José dos Santos trabalha na CPFL Paulista (e-mail: claudio@cpfl.com.br).

A MLC é um componente estrutural, constituído por uma associação de lâminas de madeira selecionadas, coladas com adesivo à prova d'água, sob pressão variável de 0,7 a 1,5 MPa. As lâminas são coladas em direções paralelas, podendo atingir até 5 cm, estas podem ser emendadas por juntas em bisel ou dentadas, nas situações em que é necessário vencer grandes vãos (PFEIL e PFEIL, 2003). A maior vantagem da MLC é o aproveitamento de peças de pequenas dimensões para laminação de vigas estruturais. Peças de variadas classes de resistência podem ser usadas nas vigas, com as de alta resistência compondo as partes mais externas. Pode-se também variar a espécie de madeira na estrutura, de acordo com a solicitação de resistência das laminações em cada região da viga (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999).

A MLC tem seus usos mais frequentes em estruturas de cobertura, elementos estruturais principais para pontes, torres de transmissão, edifícios, embarcações, entre outros. Isso se deve ao fato da MLC adaptar-se a uma significativa variedade de formas e apresentar alta resistência a solicitações mecânicas em função de seu peso próprio relativamente baixo (ZANGIÁCOMO, 2003). Como uma vantagem, permite a redução dos defeitos observados em peças de madeira maciça com grandes dimensões. O produto acabado pode somente ser testado em condições laboratoriais, onde se faz o controle de qualidade na produção, para assegurar o desempenho das peças de MLC.

Segundo (SZÜCS, 1992) as espécies mais aconselhadas para o emprego em MLC são as de coníferas com massa volumétrica entre 0,40 g/cm³ e 0,75 g/cm³. Algumas dicotiledôneas de baixa massa volumétrica também podem ser consideradas para a aplicação em MLC, quando facilmente coláveis.

O objetivo desta fase do trabalho foi avaliar a qualidade das cruzetas de MLC produzidas a partir de madeira de reflorestamento. Tal avaliação será feita por meio de ensaio estático padronizado na norma brasileira NBR 8458 (1984), técnica de vibração transversal para estimativa do módulo de elasticidade à flexão de vigas de MLC, ensaios em corpos de prova de compressão paralela às fibras, cisalhamento e delaminação. Neste artigo será apresentado o método de construção, ensaio das cruzetas de MLC e dos respectivos corpos de prova retirados delas.

Este trabalho trata do projeto Cabeça de Serie da Cruzeta Verde de MLC código ANEEL P&D 220-09 que se encontra em execução. Este projeto teve início em abril de 2009 e o seu termino está previsto para março de 2012. Como entidade executora tem-se o Laboratório de Madeiras e de Es-

truturas de Madeira (LaMEM) do Departamento de Engenharia de Estruturas (SET) da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) da Universidade de São Paulo (USP). As empresas de energia elétrica que dão suporte financeiro ao projeto são: Companhia Paulista de Força e Luz, Companhia Piratininga de Força e Luz e Companhia Luz e Força Santa Cruz.

II. MATERIAS E MÉTODOS

Para a produção das cruzetas de MLC, foram utilizadas as espécies de madeira Teca (*Tectona grandis*), Pinus Oocarpa (*Pinus oocarpa shiede*) e Lyptus®. Esta última não tem nome científico, por se tratar de uma marca registrada da Ara-cruz Produtos de Madeira (APM). Todas essas madeiras foram extraídas a partir de florestas renováveis de árvores plantadas no Brasil, portanto sem correr o risco de agredir o meio ambiente. Para cada espécie foram produzidas 200 cruzetas de MLC, sendo 100 coladas com o adesivo Resorcina Fenol Formaldeído (RFF) e 100 com o adesivo Poliuretano (PUR), totalizando 600 cruzetas de MLC para as três espécies de madeira. Após a produção das cruzetas de MLC será feito o tratamento preservativo a base de CCA (Cobre Cromo Arsênio) e CCB (Cobre Cromo Boro), para proteger do contra o ataque de insetos. Na Figura 1 tem-se o planejamento da fabricação dessas cruzetas de MLC.

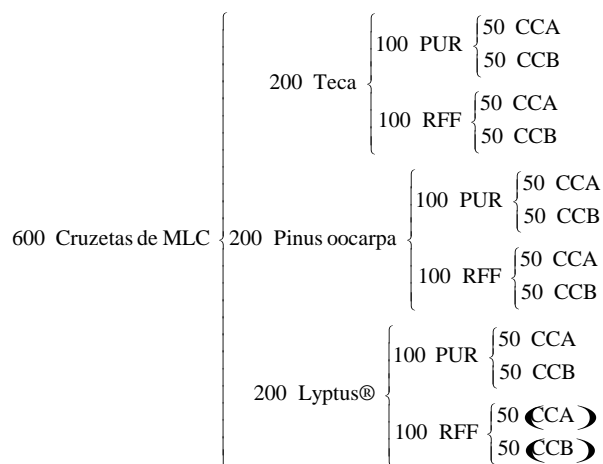


Figura 1 – Planejamento da fabricação das 600 cruzetas de MLC

O processo de produção das 600 cruzetas de MLC segue as seguintes etapas: Estocagem da madeira; Classificação visual; Classificação mecânica; Agrupamento da madeira; Processamento da lamela; Fabricação das cruzetas; Furação e arredondamento da face superior; Tratamento preservativo contra insetos; Armazenagem das cruzetas de MLC.

Tais cruzetas de MLC foram coladas com intensidade de pressão igual a 1,0 MPa, distribuições não aleatória das lâminas e gramatura para ambos os adesivos situada na faixa de 300 a 350 g/m². As cruzetas de MLC tinham comprimento de 200 cm e seção transversal de 9 cm x 9 cm e foram confeccionadas com três peças de madeira, cada lâmina com 30 mm de espessura. Nas Figuras 2 a 13 são apresentados alguns passos da confecção das cruzetas de MLC, os quais são os mesmos independente da espécies de madeira de re-

florestamento, adesivo e tratamento preservativo.



Figura 2 – Madeira de Teca não tratada entregue para confecção das cruzetas de MLC



Figura 3 – Entrega da madeira de Lyptus® não tratada para confecção das cruzetas de MLC



Figura 4 – Estocagem da madeira de Pinus Oocarpa não tratada para passar pelo processo de classificação visual

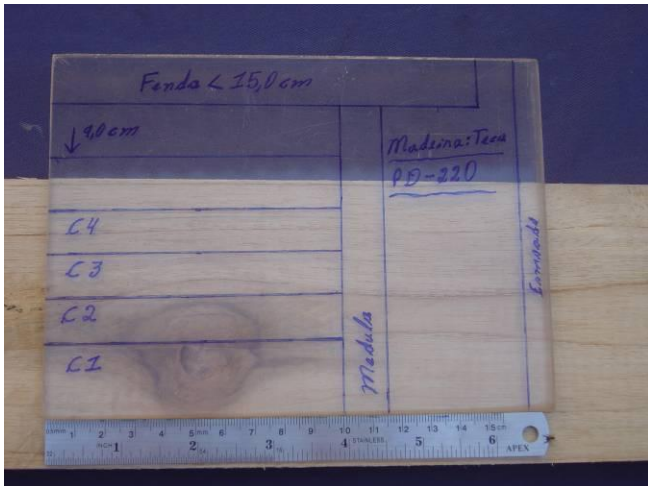


Figura 5 – Classificação visual em classes da madeira de Pinus Oocarpa não tratada com auxílio de gabarito



Figura 8 – Agrupamento em sub-classes da madeira de Pinus Oocarpa não tratada

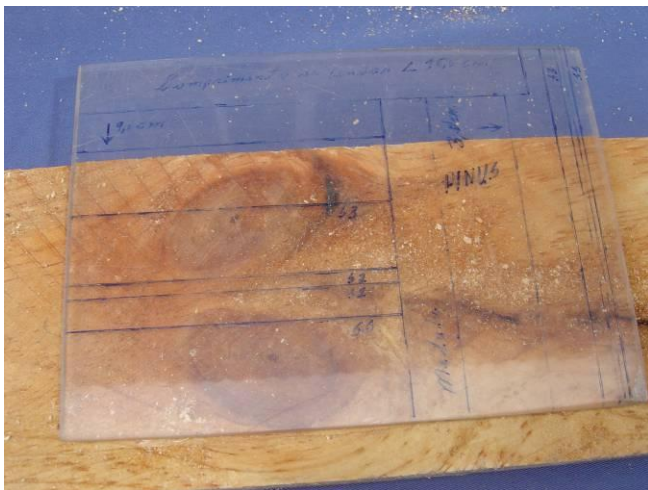


Figura 6 – Classificação visual em classes da madeira de Pinus Oocarpa não tratada com auxílio de gabarito



Figura 9 – Classificação mecânica das lâminas de madeira de Teca não tratada com aparelho

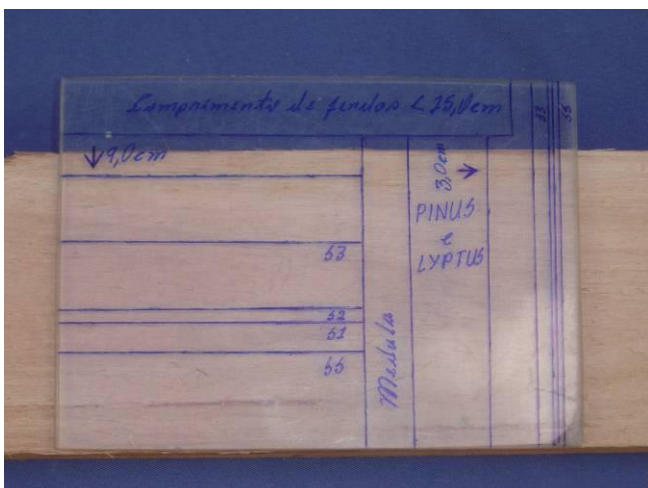


Figura 7 – Classificação visual em classes da madeira de Lyptus® não tratada com auxílio de gabarito



Figura 10 – Classificação mecânica das lâminas de madeira de Pinus Oocarpa não tratada com aparelho



Figura 11 – Passagem de adesivo PUR nas lamelas de madeira de Pinus Oocarpa não tratada



Figura 12 – Prensagem das cruzetas de MLC da madeira Lyptus® com adesivo RFF na prensa hidráulica tipo “A”



Figura 13 – Cruzetas de MLC da madeira Pinus Oocarpa com adesivo PUR após serem retiradas da prensa hidráulica tipo “A”

A. Ensaio das Cruzetas de MLC

Após a fabricação das cruzetas de MLC, conforme apresentado nas Figuras 1 a 13, retiraram-se 24 cruzetas de cada espécie de madeira, sendo 12 de cada tipo de adesivo, totalizando 72 cruzetas de MLC das 3 espécies de madeira de reflorestamento para ensaio de resistência a flexão, segundo a norma brasileira NBR 8458 (1984) - Cruzetas de Madeira

para Redes de Distribuição de Energia Elétrica. Cada grupo de 12 cruzetas foi dividido em 3 subgrupos de 4, conforme mostrado na Figura 14. No primeiro subgrupo tem-se as cruzetas não tratadas (NT) que serão ensaiadas a fim de verificar a resistência a flexão, em seguida serão retirados corpos de prova de delaminação (Del.), cisalhamento (Cis.) e fluência (Fl.) para serem feitos ensaios em condições extremas da MLC visando a exposição ao ambiente exterior. No segundo e terceiro subgrupos as cruzetas serão tratadas com CCA e CCB, e depois serão feitos os mesmos ensaios de resistência a flexão das cruzetas de MLC e em seguida retirados os corpos de prova de delaminação, cisalhamento e fluência.

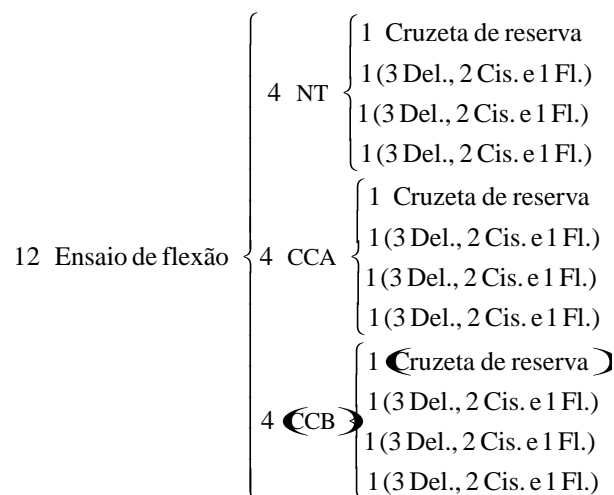


Figura 14 – Planejamento para ensaio dos grupos de 12 cruzetas de MLC

Os ensaios de resistência a flexão das cruzetas de MLC foram realizados para avaliar as propriedades mecânicas mínimas, segundo a norma brasileira NBR 8458 (1984). Tais ensaios assim como as dimensões padrões estão indicados também nas normas da Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL). Nas Figuras 15 a 20 são mostrados os ensaios de resistência a flexão das cruzetas de MLC.



Figura 15 – Ensaio de flexão estática das cruzetas de MLC da madeira Teca não tratada



Figura 16 – Ruptura das cruzetas de MLC da madeira Teca não tratada no ensaio de flexão estática



Figura 19 – Ensaio de flexão estática das cruzetas de MLC da madeira Lyptus® não tratada



Figura 17 – Ensaio de flexão estática das cruzetas de MLC da madeira Pinus Oocarpa não tratada



Figura 20 – Ruptura das cruzetas de MLC da madeira Lyptus® não tratada no ensaio de flexão estática



Figura 18 – Ruptura das cruzetas de MLC da madeira Pinus Oocarpa não tratada no ensaio de flexão estática

Nas Figuras 21 a 29 são mostrados os ensaios dos corpos de prova de delaminação, cisalhamento e fluência retirados das cruzetas de MLC, com a finalidade de avaliar a qualidade do processo de fabricação. A confecção e metodologia para ensaios dos corpos de prova de fluência foram trazidas da participação na *International Conference on Wood Adhesives/2009*.



Figura 21 – Corpos de prova de delaminação da madeira Teca não tratada produzidas com adesivos RFF e PUR



Figura 22 – Corpos de prova de delaminação da madeira Teca não tratada dentro da autoclave para ensaio cíclico



Figura 23 – Autoclave para ensaio dos corpos de prova de delaminação



Figura 24 – Corpo de prova de cisalhamento da madeira Pinus Oocarpa não tratada



Figura 25 – Corpos de prova de cisalhamento da madeira Lyptus® não tratada

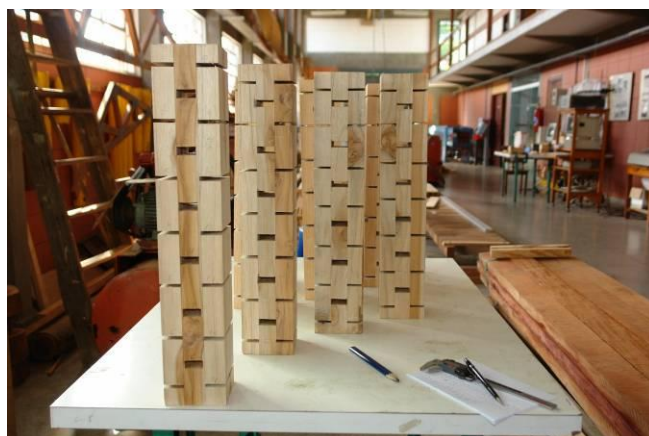


Figura 26 – Corpos de prova de fluência da madeira Teca não tratada



Figura 27 – Ensaio dos corpos de prova de fluência da madeira Teca não tratada



Figura 29 – Aparato utilizado no ensaio dos corpos de prova de fluência



Figura 28 – Ensaio dos corpos de prova de fluência da madeira Pinus Oocarpa não tratada

III. RESULTADOS

Os resultados da pesquisa apresentados neste trabalho são preliminares, e dizem respeito a 24 cruzetas de MLC não tratadas feitas a partir das três espécies de reflorestamento. Na Tabela I são apresentados os valores médios das flechas e resíduos, para as cruzetas ensaiadas nas quatro faces, sem tratamento químico. A Carga 1 (800 kgf) indica que os valores de flecha foram obtidos com a média do carregamento nominal e a Carga 2 (1120 kgf) indica que os valores de flecha e resíduos também foram obtidos com a média do carregamento máximo excepcional. Na Tabela II são apresentados os valores médios de massa e carga de ruptura dos diversos tipos de cruzetas de MLC.

Tabela I. Resultados médios de flechas e resíduos para as cruzetas de MLC sem tratamento

Cruzeta	Carga (kgf)	Flecha (mm)	Resíduo (mm)
Teca-PUR	800	13,4	0,2
	1120	18,3	0,1
	1600	X	X
Teca-RFF	800	17,3	0,3
	1120	23,8	0,3
	1600	–	–
Pinus-PUR	800	12,2	0,3
	1120	16,7	0,2
	1600	–	–
Pinus-RFF	800	14,6	0,4
	1120	21,3	0,2
	1600	–	–
Lyptus-PUR	800	9,2	0,1
	1120	12,7	0,0
	1600	–	–
Lyptus-RFF	800	9,2	0,2
	1120	12,7	0,1
	1600	–	–

Onde: – aprovado no ensaio e X reprovada no ensaio.

Tabela II – Peso e carga de ruptura médios das cruzetas de MLC sem tratamento

Tipo de cruzeta de MLC	Peso (kg)	Carga de ruptura (kgf)
Teca-PUR	10,29	1421
Teca-RFF	9,45	1833
Pinus-PUR	10,10	2065
Pinus-RFF	9,66	1801
Lyptus-PUR	11,86	2609
Lyptus-RFF	12,65	2430

IV. CONCLUSÕES

Pode-se concluir até o momento que as cruzetas de MLC sem tratamento passaram nos rigorosos critérios da norma brasileira NBR 8458 (1984) quando tomados os valores de flechas correspondentes aos carregamentos nominal de 800 kgf e máximo excepcional de 1120 kgf, conforme mostrado na Tabela I.

Apenas no carregamento mínimo de ruptura, correspondente a 1600 kgf, conforme mostrado na Tabela II, a cruzeta de Teca-PUR não passou nesse critério.

Na Tabela II também é possível observar o baixo peso das cruzetas de MLC, sendo esta uma imensa vantagem quando tratamos da instalação em campo, uma vez que a cruzeta de concreto leve pesa 2,5 vezes mais do que uma cruzeta de MLC e pesa aproximadamente 2 vezes mais do que uma de madeira tropical. Além disso, comparando as resistências específicas (resistência/densidade) entre as cruzetas observamos que para a cruzeta de concreto leve esta relação é em média igual a 2, enquanto para a cruzetas de madeiras (tropical e MLC) são em média igual a 5 e portanto como comportamento estrutural muito mais redundante. No aspecto ambiental as madeiras de reflorestamento absorvem gás carbônico durante sua formação, portanto um material ecologicamente correto (lembrar que na produção de cimento é lançado gás carbônico na atmosfera). Também vale lembrar que não há perdas nas cruzetas de MLC devido a impactos sofridos no armazenamento e no transporte, uma vez que a madeira é um material de excelente resistência ao impacto. No aspecto logístico é possível transportar 2 vezes mais cruzetas de MLC do que cruzeta de concreto leve em um mesmo volume, pois as cruzetas de MLC podem ser transportadas sem dispositivos de afastamento entre elas, uma vez que a madeira não tem problema quanto a danos no transporte.

Os demais ensaios que tratam da compatibilidade madeira adesivo encontram em fase de final de análise e pode-se concluir que as cruzetas Pinus-PUR e Pinus-RFF apresentaram os melhores resultados.

No contexto global a fabricação de cruzetas de MLC a partir da madeira de reflorestamento, certamente é um grande atrativo, pois além de ter uma ótima relação resistência-peso, não causa danos ao meio ambiente e contribui para o sequestro de carbono da atmosfera.

V. AGRADECIMENTOS

A todos os funcionários do LaMEM/SET/EESC/USP e da CPFL Energia que, direta ou indiretamente, contribuíram em parceria para que este trabalho fosse realizado.

As empresas Agrotec Empreendimentos Agropecuários LTDA e Aracruz Produtos de Madeira pelo fornecimento das madeiras Teca e Lyptus®, respectivamente.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AITC A190 Structural glued laminated timber, American National Standard for Wood Products, 20p, 2007.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8458. (1984). Cruzetas de Madeira para Redes de Distribuição de Energia Elétrica. Rio de Janeiro.

- [3] BODIG, J.; JAYNE, B.A. Mechanics of wood composites. New York: Van Nostrand Reinhold Co. Inc., 1982. 712p.
- [4] CAN/CSA 077. (2006). Qualification Code for Manufactures of Structural Glued – Laminated Timber, Canadian Standards Association, 16 p.
- [5] FOREST PRODUCTS LABORATORY. (1999). Wood Handbook: Wood as an Engineering Material. Madison: U.S. Department of Agriculture, 463 p.
- [6] INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Madeira: uso sustentável na construção civil. São Paulo: IPT, 2009. 100p. (IPT Publicação, 3010).
- [7] LAROCA, C. Habitação social em madeira: uma alternativa viável. 2002, 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná.
- [8] PFEIL, W. E.; PFEIL, M. Estruturas de madeira. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003. 224p.
- [9] SZÜCS, C. A. Aplicação estrutural da madeira sob a técnica do laminado-colado. Florianópolis: UFSC Departamento de Engenharia Civil, 1992. Não paginado. Apostila.
- [10] TELES, R. F.; MENEZZI, C. H. S.; SOUZA, M. R.; Souza, F. Effect of nondestructive testing of laminations on the bending properties of glulam beams made from louro -vermelho (sextonia rubra). CERNE (UFPA), v. 16, p. 77-85, 2010.
- [11] TEREZO, R. F.; SZÜCS, C. A. Análise de desempenho de vigas em madeira-laminada-colada de parica (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke). IPEF. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (Cessou em 1995. Cont. ISSN 1413-9324 Scientia Forestalis), v. 38, p. 471-480, 2010.
- [12] TIMOSHENKO, S. Vibration problems in engineering. 2ª ed, John Wiley & Sons, New York, 1938.
- [13] ZANGIÁCOMO, A. L. Emprego de espécies tropicais alternativas na produção de elementos estruturais de madeira laminada colada. 2003, 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.