



# XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Avanços no desempenho das construções – pesquisa, inovação e capacitação profissional

12, 13 E 14 DE NOVEMBRO DE 2014 | MACEIÓ | AL

## DESENVOLVIMENTO DE CAIBRO TRELIÇADO DE MADEIRA LAMINADA PREGADA DE PINUS SPP

CADURIN, Leonardo Dal Pico (1); PLETZ, Everaldo (2); JAOUICHE, Sheedy Tomás (3)

(1) USP, leonardodpc@usp.br (2) UEL, pletz@uel.br (3) UEL, sheedytj@hotmail.com

### RESUMO

A utilização de madeira proveniente de florestas plantadas, especialmente o *Pinus*, tem se tornado mais frequente e demonstra ser uma boa opção para construção de estruturas. Uma nobre utilização de *Pinus* é para estruturas de cobertura, que é o mais comum emprego estrutural de madeira no Brasil. Os caibros treliçados, construídos com madeira de conífera e ligações em chapas de dentes estampados, são amplamente utilizados em coberturas de países europeus, EUA e Canadá. As barras da treliça podem ser laminadas pregadas, que é uma alternativa mais viável economicamente em relação à madeira laminada colada. Este trabalho faz parte do desenvolvimento de projeto de pesquisa financiado pela Fundação Araucária e tem como objetivo desenvolver uma nova tecnologia para estruturas de cobertura, que consiste de caibros treliçados compostos de madeira laminada pregada. Neste sentido foi realizada uma extensa revisão bibliográfica, estudadas alternativas de sistema estrutural, desenvolvido um modelo de cálculo e realizado ensaio de dois protótipos. A metodologia de ensaio consistiu em aplicar carregamento, através de blocos de concreto, em sete pontos igualmente distanciados do banzo superior do caibro treliçado, para representar o carregamento uniformemente distribuído que caracteriza este sistema de cobertura. A construção do caibro treliçado com *Pinus spp* no sistema de laminação pregada demonstrou ser uma opção viável do ponto de vista econômico, construtivo e técnico. A estrutura entrou em colapso com a aplicação de 13,573 kN (muito além dos 6,00 kN correspondentes à carga de serviço), mas ainda necessita de estudos sobre o seu comportamento em relação à fluência e sobre as emendas nas barras, principalmente aquelas sujeitas à tração.

**Palavras-chave:** *Pinus spp*, caibro treliçado, madeira laminada pregada, cobertura.

### ABSTRACT

*The use of wood from planted forests, especially Pinus, is becoming more frequent and proving to be a good option for the construction of structures. A noble use of Pinus is for roof structures, which is the most common structural use of timber in Brazil. The trussed rafters constructed with softwood timber and connections in metal connector plates are extensively used in roofs of European countries, USA and Canada. Nailed laminations are a more economically viable alternative to glued laminations for truss constructions. This work is part of the development of a research project financed by the Araucaria Foundation and aims to develop a new technology for roofing structures, consisting of trussed rafters composed of nailed laminated timber. With this in mind an extensive literature review was undertaken, alternative structural systems were studied, a calculation model was developed and two experimental prototypes tested. The testing methodology consisted of hanging concrete blocks in seven points equally spaced in the top chord of the trussed rafter to represent the uniformly distributed load that characterizes this roofing system. The construction of nailed laminated trussed rafters with Pinus spp proved to be an economically, technically and constructive viable option. The structure collapsed with the application of 13,573 kN (far beyond 6,00 kN, the expected the service load), but there is still a need for more study on creep performance and on butt joints subjected to tension.*

**Keywords:** *Pinus spp*, trussed rafter, nailed laminated timber, roofing.

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui grande extensão territorial, sendo cerca de 64% do território (aproximadamente 550 milhões de hectares) correspondente a coberturas florestais em geral. As plantações florestais cobrem 6,66 milhões de hectares, dos quais 76,6% são áreas de plantios de Eucalyptus e 23,4% de Pinus. Os estados do Paraná e Santa Catarina são os maiores produtores de Pinus do país. (ABRAF, 2013)

Embora o Brasil possua uma grande produção de florestas plantadas devido à enorme extensão territorial e boa produtividade devido ao tipo do solo e clima, a madeira serrada que é destinada ao mercado interno, principalmente à construção civil, ainda é de baixa qualidade. Como a maior parte da madeira é utilizada para fins pouco nobres e o mercado consumidor não é exigente, não há muita preocupação por parte dos produtores com a qualidade final do produto, sendo os maiores problemas decorrentes do manejo florestal (principalmente em relação às podas), desdobro realizado de forma precária e defeitos oriundos da secagem. (FAGUNDES, 2003)

O mercado da construção civil ainda é o maior consumidor de madeira serrada, sendo a indústria mobiliária responsável pelo segundo maior consumo. Por outro lado, embora a construção civil seja o maior consumidor, as melhores madeiras são destinadas ao setor de móveis, sendo as restantes destinadas aos demais fins. O setor da construção civil utiliza madeira serrada de florestas plantadas em estruturas provisórias (andaimes, escoramentos, fôrmas, construções temporárias, etc), coberturas e outros produtos com maior valor agregado, como portas, janelas, pisos, forros, molduras, acabamentos, etc, sendo o uso para fins estruturais pouco visto. (VALLE, 2011)

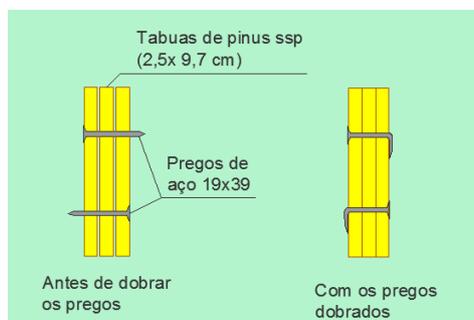
O Pinus possui defeitos naturais característicos desse tipo de madeira, mas com tratamento adequado a madeira pode ser utilizada de forma segura. É preciso conscientizar profissionais da área da construção e o mercado consumidor que é necessário realizar a classificação visual e mecânica das peças para obter melhor eficiência no uso destas, visto que grande parte da madeira é vendida indiscriminadamente, independente da grande variabilidade entre peças referente às propriedades mecânicas. Madeiras jovens tendem a ter menores módulos de elasticidade, pois possuem menor incidência de anéis de crescimento. Outro cuidado é referente à secagem, sendo muito recomendada a utilização de madeira seca e que a secagem seja feita de forma adequada. Quando utilizado de forma correta, o Pinus apresenta bons resultados, sem contar a grande facilidade relacionada à industrialização por ser uma madeira leve. (STAMATO, 2006)

Um comum uso estrutural de madeira é em coberturas. Tradicionalmente, as estruturas que recebem as telhas são constituídas de ripas, caibros e terças (umas sobre as outras, respectivamente nesta ordem), as quais são apoiadas sobre tesouras. Uma alternativa é utilizar caibros treliçados, o que substitui o uso das terças e caibros. Nesse caso, as ripas, as quais servem de apoio para as telhas, se tornam responsáveis por realizar o contraventamento das tesouras e estas realizam a função de caibro também. Além de ser um sistema antigo e muito utilizado em países desenvolvidos, provando ser eficiente, o sistema em caibro treliçado consome menor volume de madeira quando comparado com os sistemas tradicionais de cobertura, de acordo com Mindham (2006). Comumente, nas ligações de caibros treliçados são utilizadas chapas de dentes estampados, mas uma adaptação à realidade brasileira, tornando a construção mais econômica, seria o uso de pregos.

Como a madeira de Pinus encontrada no mercado nacional ainda possui grande incidência de defeitos naturais, a composição de madeira laminada pregada (MLP) feita

com tábuas isentas de defeitos pode ser uma boa opção (ainda pouco estudada) para compor os caibros treliçados. O sistema MLP (Figura 1) apresenta características de baixo custo, facilidade de execução e melhor uso da madeira disponível. Um emprego do sistema MLP para cobertura foi feito por Valle (2011), no qual foram obtidos bons resultados.

**Figura 1 - Esquema de MLP**



Fonte: Jaouiche (2012)

O objetivo desse estudo foi desenvolver uma estrutura de cobertura em caibro treliçado, utilizando MLP de *Pinus spp*, visando a sua utilização em larga escala para habitações de interesse social. Jaouiche (2012) realizou testes de ruptura com caibros treliçados compostos de MLP, os quais apresentaram bons resultados, mas com fragilidade na ligação entre linha e perna. Cadurin (2013) deu continuidade aos experimentos de Jaouiche, sendo aprimoradas as ligações nos nós do protótipo. Este apresentou maior resistência mecânica em relação ao de Jaouiche, mas ainda são necessários estudos sobre o comportamento da estrutura em estado de fluência e também sobre as emendas das barras, principalmente em relação às tracionadas.

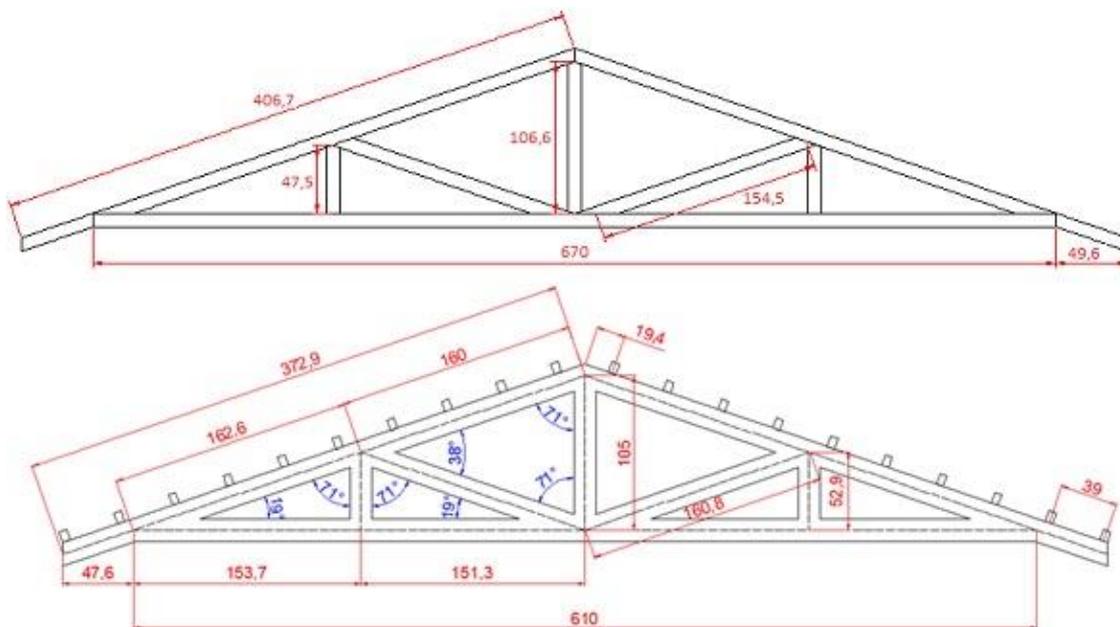
## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A madeira utilizada neste estudo é do tipo *Pinus spp* e foi fornecida pelo Laboratório de Estruturas da Universidade Estadual de Londrina, através de financiamento de pesquisa junto à Fundação Araucária. As pranchas já se encontravam secas e possuíam dimensões médias de 3 metros de comprimento, 28 cm de largura e 4 cm de espessura. Cada prancha foi desdobrada e deu origem a quatro tábuas. Os protótipos de Jaouiche (2012) e Cadurin (2013) apresentam pequenas diferenças em relação às dimensões do caibro treliçado. Ambos os autores desenvolveram os projetos dos caibros treliçados (Figura 2) com base em um projeto arquitetônico de uma residência do projeto Casa Fácil da Universidade Estadual de Londrina, supondo carregamento de telhas cerâmicas. Outras diferenças em relação aos protótipos são em relação aos pregos e a quantidade dos mesmos utilizados nas ligações. Jaouiche (2012) utilizou pregos 19x39 (Figura 1), enquanto Cadurin (2013) utilizou pregos 20x30 para que não fosse necessário dobrá-los na ponta.

### 2.1 Classificação visual

A classificação visual foi realizada com o auxílio de um Manual de classificação visual de peças estruturais de madeira tipo *Pinus*. Este manual é parte integrante do livro Qualidade e processo produtivo da madeira para utilização em mobiliário, de autoria de Moura, Pletz & Recco, publicado pela Universidade Estadual de Londrina em 2012. O manual foi elaborado de acordo com a norma brasileira NBR 11700 e as normas americanas ASTM D245-93 e SOUTHERN PINE 1994.

**Figura 2 - Dimensões dos caibros treliçados (em cm)**



Fonte: Jaouiche (2012) e Cadurin (2013), respectivamente

Primeiramente foram observados defeitos como nós, bolsas de resina, galerias, esmoados e rachaduras. Em seguida foram realizadas marcações com giz para delimitar as seções livres de defeitos naturais e as seções defeituosas. Quando foi considerado que o defeito não era limitante para o desempenho final da peça, ele permaneceu na seção utilizável. Por outro lado, em alguns casos as tábuas inteiras precisaram ser descartadas devido ao excesso de defeitos naturais ou tamanho e localização destes.

Foi obtida, para cada peça, medida de comprimento (em cm) com trena metálica, três medidas (em cm) de espessura e três de largura, igualmente espaçadas ao longo do comprimento da peça, com uso do paquímetro. Os anéis de crescimento foram contados e também foram anotados os defeitos naturais presentes, além da porcentagem máxima de mancha azul presente. Quando havia presença de nós, foi anotada a quantidade total de nós e especificada a quantidade de cada tipo de nó. Conforme os defeitos observados, a peça foi classificada entre classes 1 a 3.

## 2.2 Classificação mecânica

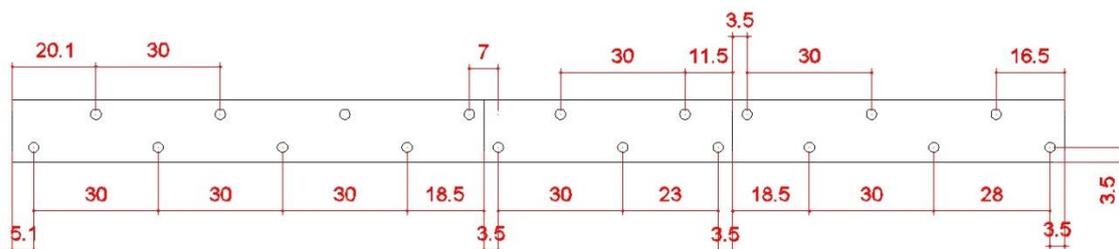
Foram realizados ensaios não destrutivos de flexão estática, com base na NBR 7190, para obtenção do módulo de elasticidade. Para realização dos experimentos, foi utilizado um pórtico metálico com cilindro hidráulico, célula de carga e medidor de deslocamento LVDT instalados.

As tábuas foram colocadas sobre dois apoios cujo vão foi de 41,5 cm. O centro do vão corresponde ao centro do cilindro hidráulico. Tentou-se manter sempre o centro da tábua no centro do vão, mas devido à presença de defeitos, muitas vezes foi necessário deslocar a tábua para os defeitos não permanecem sobre os apoios ou no intervalo do vão. Com a tábua posicionada, foram realizados os carregamentos conforme a NBR 7190. Os dois primeiros ciclos de carregamento foram realizados e no terceiro ciclo, ao invés de carregar até a ruptura, foi realizado um ciclo idêntico aos dois primeiros, a fim de obter o módulo de elasticidade.



Em relação às ligações entre as junções e emendas da MLP, adotou-se espaçamento médio horizontal de 15 cm entre cada prego ao longo da MLP e em relação às bordas foi de 3,5 cm. Na região da emenda o espaçamento adotado foi menor do que 15 cm, a fim de não deixar os pregos muito distantes da extremidade da tábua. Na Figura 5 é possível ver uma demonstração da distribuição de pregos na MLP em uma das faces.

**Figura 5 - Exemplo de distribuição de pregos na MLP (em cm)**

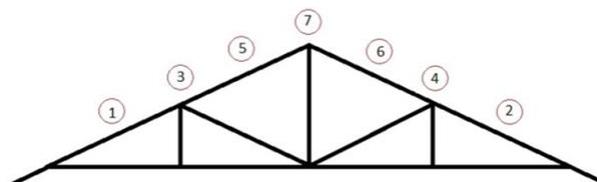


Fonte: Cadurin (2013)

## 2.5 Ensaio de ruptura dos caibros treliçados

Os ensaios de ruptura foram realizados na área externa do Laboratório de Estruturas da UEL. O carregamento foi aplicado através de colocação de blocos de concreto sobre suportes metálicos que foram presos à tesoura. No ensaio de Jaouiche (2012) foram pendurados seis suportes metálicos, enquanto no trabalho de Cadurin (2013) foi posicionado um suporte metálico adicional, totalizando sete suportes. Na figura 6 é possível ver a posição de cada suporte.

**Figura 6 - Sequência de carregamento da estrutura**



Fonte: Cadurin (2013)

Os blocos de concreto e suportes metálicos foram todos pesados em balança de precisão de 0,1 daN antes de serem utilizados no ensaio. Em seguida foi realizada a aplicação dos Ciclos de Acomodação, necessários para acomodar as fibras e encaixes da estrutura. A aplicação das cargas ocorreu sempre das extremidades para o centro, conforme sequência exposta na Figura 6. Em seguida foram realizados os carregamentos até a ruptura (Ciclos de Ruptura). Após a execução de cada ciclo de carregamento foi medido o deslocamento em três pontos da tesoura (nós centrais do banzo inferior) com régua de precisão de 1 mm.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estrutura de Jaouiche (2012) obteve ruptura com carregamento de 707,70 daN devido a uma fragilidade na ligação entre perna e linha (Figura 7) e o deslocamento máximo calculado no vão central foi de 87,80 mm. Segundo dimensionamento pela NBR 7190 seriam necessários 12 pregos para esta ligação, o que foi impossível devido ao espaço físico limitado. No trabalho de Cadurin (2013) foi feito o dimensionamento pelo Eurocode 5 (Figura 4) e esse problema foi solucionado.

**Figura 7 - Ruptura da estrutura de Jaouiche**



Fonte: Jaouiche (2012)

Os resultados de Cadurin (2013) indicam as melhorias obtidas para o sistema estrutural. Na Tabela 1 é possível ver os dados de carregamento e deslocamentos da estrutura. A primeira série de carregamento dos Ciclos de Acomodação contém as massas dos suportes inclusas. Devido a uma questão de segurança e praticidade durante o transporte e manejo dos blocos de concreto, nos Ciclos de Ruptura foram utilizados blocos de menor massa (aproximadamente 25 daN), sendo de 50 daN (em média) os utilizados nos Ciclo de Acomodação.

**Tabela 1 - Dados de carregamento da estrutura**

Ponto	Ciclos de Acomodação				Ciclos de Ruptura					
	P (daN)	$\Delta$ (mm)	P (daN)	$\Delta$ (mm)	P (daN)	$\Delta$ (mm)	P (daN)	$\Delta$ (mm)	P (daN)	$\Delta$ (mm)
1	61,9		51,2		30,5		26,1		26,8	
2	63,3		50,3		31,2		27,0		26,1	
3	63,1	3,0	49,5	12,0	26,4	31,0	26,8	39,0	26,2	53,0
4	61,3	3,0	49,8	14,0	26,7	29,0	26,9	36,0	26,6	50,0
5	63,1		50,4		30,4		26,2		26,9	
6	61,4		50,6		26,1		26,0		27,2	
7	54,0	7,0	49,8	21,0	30,9	40,0	30,5	45,0	26,1	59,0
<b>P<sub>série</sub> (daN)</b>	428,1		351,6		202,2		189,5		185,9	
<b>P<sub>acum</sub> (daN)</b>	428,1		779,7		981,9		1171,4		1357,3	

Fonte: Cadurin (2013)

O carregamento de ruptura da estrutura de Cadurin foi de 1357,3 daN e o deslocamento máximo no centro do vão foi de 59 mm. Ao contrário do primeiro protótipo, a ruptura ocorreu em uma emenda de barra tracionada, ocorrendo rasgamento da madeira pertencente à camada interna, como pode ser observado na Figura 8.

**Figura 8 - Ruptura na emenda tracionada**



Fonte: Cadurin (2013)

Na Figura 9 é possível ver a estrutura com o carregamento máximo aplicado e a posterior ruptura.

**Figura 9 - Estrutura com carregamento de ruptura aplicado**



Fonte: Cadurin (2013)

As medidas de deslocamento na emenda de ruptura foram medidas e a Figura 10 apresenta a evolução de deslocamento durante os Ciclos de Ruptura. As medidas foram obtidas, respectivamente, nos ciclos acumulados de 981,9 daN, 1171,4 daN e 1357,3 daN e a curva de evolução do deslocamento na emenda pode ser vista na Figura 12.

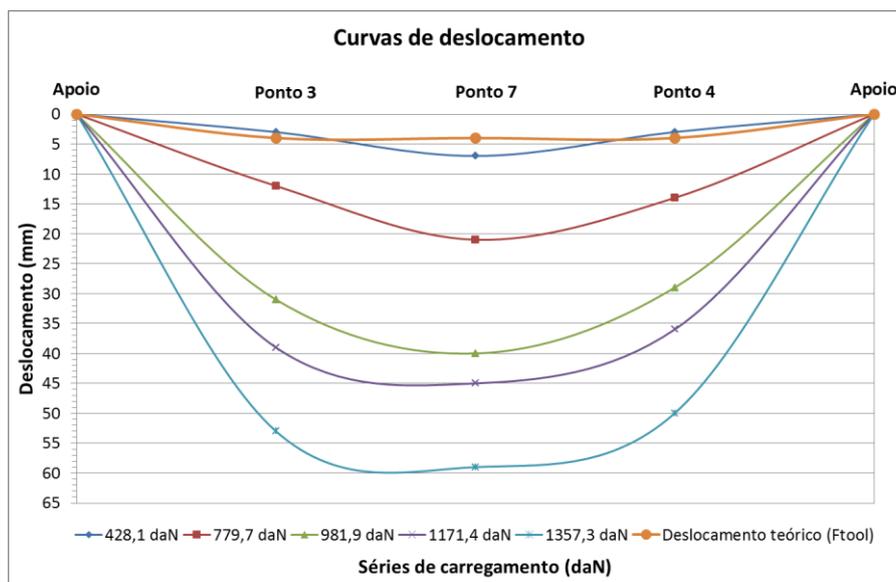
**Figura 10 - Evolução do deslocamento na emenda de ruptura**



Fonte: Cadurin (2013)

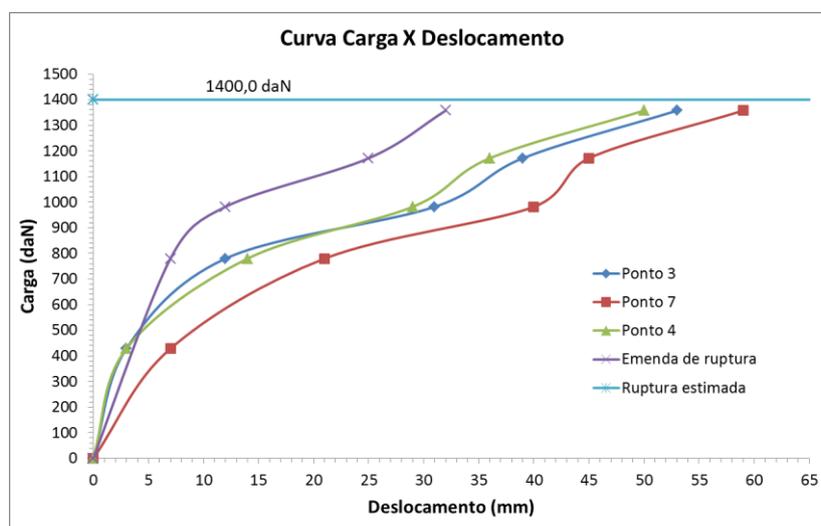
Para representar o comportamento global da estrutura, as curvas de deslocamentos foram obtidas de acordo com as medidas nos nós do vão do banzo inferior. Também foi obtido o deslocamento teórico conforme análise no software Ftool (Figura 11).

**Figura 11 - Curvas de deslocamentos do caibro treliçado**



É possível comparar o deslocamento em cada ponto da estrutura através das curvas carga x deslocamento apresentadas na Figura 12.

**Figura 12 - Curvas carga x deslocamento do caibro treliçado**



A reta em azul claro corresponde ao valor da ruptura estimada (1400 daN), que foi calculado anteriormente ao ensaio de ruptura ser realizado. As curvas correspondem aos pontos 3, 4 e 7 (nós inferiores do vão) e a curva roxa representa o comportamento da emenda na qual ocorreu a ruptura. É possível notar que quando ocorreu menor deslocamento dos nós (intervalo entre carregamentos acumulados de 981,9 daN e 1171,4 daN), houve maior deslocamento da emenda de ruptura.

#### 4 CONCLUSÕES

Os caibros treliçados são amplamente utilizados como estruturas de cobertura nos EUA, Canadá e alguns países europeus, ou seja, sua eficiência já é comprovada. A construção

dessas estruturas com madeira laminada pregada demonstrou ser uma opção viável diante da madeira de *Pinus* produzida no Brasil, a qual apresenta grande quantidade de defeitos naturais.

Os resultados deste estudo demonstraram que houve melhoria de desempenho mecânico em relação ao protótipo de Jaouiche (2012), através da correção do problema da ligação no nó entre linha e perna. Por outro lado, apresentou fragilidade em uma emenda tracionada (banzo inferior) devido ao pequeno espaço disponível para a colocação dos pregos, sendo possível colocar apenas um nessa ligação. Os resultados apresentados são favoráveis, mas é necessário corrigir a emenda na qual ocorreu ruptura, deixando um espaço maior para que seja possível colocar a quantidade suficiente de pregos para transmitir os esforços normais. Também é necessário aprofundar os estudos em relação ao comportamento da estrutura em estado de fluência.

### AGRADECIMENTOS

À Fundação Araucária, pelo apoio recebido.

### REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7190**: Projetos de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF 2013**: ano base 2012. 148f. Brasília, 2013. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/estatisticas.asp>>. Acesso em: 21 abr. 2014.

CADURIN, L. D. P. **Análise experimental de um caibro treliçado composto de vigas laminadas pregadas de *Pinus spp* para coberturas de habitações de interesse social**. 2013. 130f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **Eurocode 5**: Design of Timber Structures – Part 1.1: General – Common Rules and Rules for Buildings, Bruxelas, 2004.

FAGUNDES, H. A. V. **Diagnóstico da produção de madeira serrada e geração de resíduos do processamento de madeira de florestas plantadas no Rio Grande do Sul**. 2003. 173f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

JAOUICHE, S. T. **Estruturas leves de madeira laminada pregada de *Pinus ssp* para telhados de habitações de interesse social**. 2012. 80f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

MINDHAM, C. N. **Roof Construction and loft conversion**. 4 ed. Blackwell Publishing, 2006.

MOURA, J. D. M.; PLETZ, E; RECCO, E. G. **Qualidade e processo produtivo da madeira para utilização em mobiliário**. Londrina, 2012.

STAMATO, G. C. et al. **Cuidados com a utilização de coníferas nas estruturas de madeira**. X EBRAMEM. São Pedro, 2006. Disponível em: <[http://www.stamade.com.br/artigos/utilizacao\\_de\\_coniferas.pdf](http://www.stamade.com.br/artigos/utilizacao_de_coniferas.pdf)>. Acesso em: 21 abr. 2014.

VALLE, I. M. R. **A pré-fabricação de dois sistemas de cobertura com madeira de florestas plantadas**: Estudos de casos: os assentamentos rurais Pirituba II e Sepé Tiaraju. 2011. 352f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos.