

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS E DA MADEIRA

THAIS BARBOSA CRUZ

AVALIAÇÃO DOS MÓDULOS DE ELASTICIDADE EM PAINEL  
AGLOMERADO DE MADEIRA POR MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS

JERÔNIMO MONTEIRO  
ESPÍRITO SANTO  
2015

THAIS BARBOSA CRUZ

AVALIAÇÃO DOS MÓDULOS DE ELASTICIDADE EM PAINEL  
AGLOMERADO DE MADEIRA POR MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS

Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Industrial Madeireiro.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Gutemberg de Alcântara Segundinho.

JERÔNIMO MONTEIRO  
ESPÍRITO SANTO

2015

THAIS BARBOSA CRUZ

AVALIAÇÃO DOS MÓDULOS DE ELASTICIDADE EM PAINEL  
AGLOMERADO DE MADEIRA POR MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS

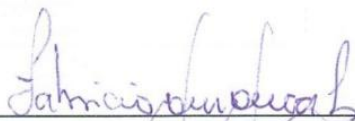
Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Industrial Madeireiro.

Aprovada em 07 de julho de 2015.

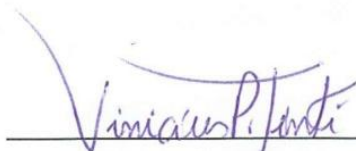
COMISSÃO EXAMINADORA



Pedro Gutemberg de Alcântara Segundinho  
Universidade Federal do Espírito Santo – UFES  
Orientador



Fabricio Gomes Gonçalves  
Universidade Federal do Espírito Santo – UFES



Vinicius Peixoto Tinti  
Universidade Federal do Espírito Santo – UFES

Aos meus pais, Sandra e Reginaldo, sem os quais, eu nada seria. Hoje estou aqui por vocês e para vocês.

*"O futuro pertence àqueles que acreditam na beleza dos seus sonhos."  
Eleanor Roosevelt*

## AGRADECIMENTOS

Palavras são pequenas diante tamanha gratidão!

Agradeço a Deus, por me guiar a cada passo e me dar forças para sempre seguir em frente.

Aos meus pais, por todo amor e carinho, por tornarem possível dentre muitas outras coisas, minha formação acadêmica, por acreditarem que eu poderia fazer deste sonho, realidade. À minha mãe, minha guerreira, minha maior incentivadora, que não mede esforços para minha felicidade e de meu irmão. Ao meu pai, que eu tanto gostaria que estivesse presente, mas sei que olha por mim de um lugar melhor.

Ao Thales meu irmão, pela amizade, compreensão e por ser meu riso certo quando estou em casa.

À minha família, minha base. Aos meus avós Manuel, Rute e Iracy, tios e tias, primos e primas pelo amor, carinho, incentivo e força. Em especial à tia Bia pelo tamanho apoio, ao tio Fernando pelas tantas idas e vindas de Alegre e à minha prima Gabriela por ser minha irmã e melhor amiga.

Ao Bruno, pelo amor, carinho, companheirismo, força, apoio, por ser meu melhor amigo e meu porto seguro. Me faltam palavras para descrever sua importância em minha vida.

Aos amigos de Manhumirim, pela compressão de minha ausência e, que mesmo assim, fazem parecer que o tempo não passou. Aos amigos de Alegre, à turma de EIM 2010/2 e agregados, aos amigos de república e aos que encontrei pelo caminho, por serem minha família fora de casa, pelas histórias, noites em claro, por viverem comigo anos inesquecíveis. Àqueles amigos que levarei comigo onde quer que eu vá, obrigada por fazerem destes anos mais fáceis e alegres de viver.

À Universidade Federal do Espírito Santo pela oportunidade.

Aos professores, pelos ensinamentos passados, em especial ao professor Pedro pela ajuda e por me acolher como orientada e ao professor Fabricio pelos tantos conselhos.

Um ciclo precisa se encerrar para que outro comece. E eis que é chegado o momento de colher os frutos de anos de dedicação, e isso não seria possível sem aqueles que estiveram ao meu lado seja de perto ou de longe, a vocês, deixo aqui meu muito obrigada!

## RESUMO

Os principais responsáveis pela evolução tecnológica nos setores de construção civil e mobiliário, em razão da sua utilização como matéria-prima, são as indústrias de painéis, em especial a de aglomerado. A avaliação das propriedades mecânicas dos derivados de madeira nas indústrias nacionais é feita, normalmente, por amostragem e horas depois de sua produção e, dependendo do resultado obtido a produção é suspensa para a regularização do processo. Visto isso, é evidente a importância da adequação de ensaios não destrutivos, na obtenção das propriedades mecânicas de painéis de madeira. O objetivo do trabalho foi comparar o Módulo de Elasticidade obtido por meio de ensaios não destrutivos com o ensaio destrutivo em painéis aglomerados feitos a partir de resíduos de madeira de *Eucalyptus* sp., e indicar o melhor método. Para isso, foram feitos, ensaios de vibração livre em placa, *stress wave* em placa utilizando a “corneta”, *stress wave* em placa utilizando a “garra” e *stress wave* em corpos de prova utilizando a “garra” e ensaio destrutivo de flexão estática. O método de ensaio não destrutivo de *stress wave* em corpos de prova utilizando a “garra”, foi o mais indicado, pois é o método que mais se aproximou do método de flexão estática.

Palavras chave: Vibração livre; *Stress wave*; Flexão estática; Adesivo; Painel reconstituído.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	vii
1 INTRODUÇÃO.....	8
1.1 O problema e sua importância .....	9
1.2 Objetivos .....	9
1.2.1 Objetivo geral.....	9
1.2.2 Objetivos específicos.....	9
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	10
2.1 Madeira .....	10
2.2 Painéis de madeira aglomerada.....	10
2.3 Ensaios não destrutivos .....	11
2.4 Ensaios destrutivos – Módulo de elasticidade por flexão estática.....	12
3 METODOLOGIA .....	14
3.1 Caracterização do material .....	14
3.2 Ensaios não destrutivos em placas e corpos de prova .....	14
3.2.1 Ensaio de vibração livre em placa .....	14
3.2.2 Ensaio de <i>stress wave</i> em placa utilizando a “corneta” .....	16
3.2.3 Ensaio de <i>stress wave</i> em placa utilizando a “garra” .....	17
3.2.4 Ensaio de <i>stress wave</i> em corpos de prova utilizando a “garra” .....	17
3.3 Ensaio destrutivo em corpo de prova a flexão estática .....	18
3.4 Análise estatística dos dados.....	18
4 RESULTADOS .....	19
5 CONCLUSÕES.....	24
6 REFERÊNCIAS .....	25

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Painel aglomerado sobre o suporte para ensaio de vibração livre em placa.....	15
Figura 2 – Realização do ensaio de vibração livre em placa: A – Impacto feito no painel. B – Captura da frequência do impacto.....	15
Figura 3 – Ensaio de <i>stress wave</i> utilizando a “corneta” em placa de aglomerado...	16
Figura 4 – Ensaio de <i>stress wave</i> utilizando a “garra” em placa de aglomerado. ....	17
Figura 5 – Ensaio de <i>stress wave</i> em corpo de prova utilizando a “garra”.....	18
Figura 6 – Comportamento da estimativa do Módulo de Elasticidade para diferentes métodos em função do adesivo 100% ureia formaldeído.....	20
Figura 7 – Comportamento da estimativa do Módulo de Elasticidade para diferentes métodos em função do adesivo 100% fenol formaldeído.....	21
Figura 8 – Comportamento da estimativa do Módulo de Elasticidade para diferentes métodos em função do adesivo 100% tanino formaldeído.....	21
Figura 9 – Comportamento da estimativa do Módulo de Elasticidade para diferentes métodos em função dos diferentes adesivos. ....	22



## 1 INTRODUÇÃO

A utilização da madeira para fins estruturais vem sendo cada vez maior, e é evidente sua importância mundial. Porém com o fortalecimento dos conceitos de preservação ambiental, a diminuição de disponibilidade de espécies nativas e seus efeitos na economia, tem-se a necessidade de desenvolver alternativas para utilização racional de espécies de florestas plantadas (FIORELLI; DIAS; COIADO, 2009).

A crescente produção de painéis a base de madeira têm se mostrado uma interessante alternativa em relação à madeira serrada. Estes viabilizam a utilização de praticamente 100% da tora e, não impõem restrições quanto ao uso de espécies de reflorestamento, rápido crescimento e baixa densidade (MORALES, 2006).

Indústrias brasileiras têm fabricado e investido na produção dos mais diversos tipos de painéis à base de madeira, buscando atender aos mercados interno e externo principalmente nos setores de construção civil e moveleiro (MORALES, 2006).

De acordo com a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (1997): “No desenvolvimento do projeto de uma estrutura de madeira, é preciso assegurar uma durabilidade mínima compatível com sua finalidade e com o investimento a ser realizado”.

Devem-se buscar conhecimentos de métodos eficientes do uso da madeira. Para o suprimento de madeira para variados fins, tem grande potencial o gênero *Eucalyptus*. Assim, torna-se indispensável o conhecimento da classificação e das características físico-mecânicas da madeira.

A norma brasileira NBR 7190 (ABNT, 1997), apesar de ser um referencial normativo para estruturas de madeira, não apresenta normas gerais para obtenção do módulo de elasticidade por métodos não destrutivos como vibração longitudinal e transversal por exemplo. Um ponto que se destaca para métodos não destrutivos é a economia e praticidade, pois os corpos de prova não são destruídos nos ensaios, ou seja, não precisam ser descartados após seu uso e a utilização de poucos equipamentos no ensaio para a determinação do módulo de elasticidade.

## 1.1 O problema e sua importância

Qual é a avaliação dos Módulos de Elasticidade obtidos por meio de ensaios não destrutivos e destrutivos em painéis aglomerados de *Eucalyptus* sp. e qual o método de ensaio não destrutivo mais indicado?

Espera-se que os resultados dos ensaios não destrutivos sejam estatisticamente iguais ao ensaio destrutivo.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo geral

Comparar o Módulo de Elasticidade obtido por meio de ensaios não destrutivos com o ensaio destrutivo em painéis aglomerados de *Eucalyptus* sp.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Obter o Módulo de Elasticidade por meio de vibração livre em placa;
- Obter o Módulo de Elasticidade por meio de *stress wave* utilizando a “corneta” na placa;
- Obter o Módulo de Elasticidade por meio de *stress wave* utilizando a “garra” na placa;
- Obter o Módulo de Elasticidade por meio de *stress wave* em corpos de prova utilizando a “garra”;
- Obter o Módulo de Elasticidade em corpos de prova por flexão estática.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Madeira**

A madeira pode ser usada nas mais variadas formas estruturais, desde as menores estruturas às maiores e pesadas. O principal motivo de a madeira ser considerada um material de construção é por ser ambientalmente sustentável; comparada aos principais materiais utilizados, é o único que é renovável, reciclável e biodegradável (MARQUES, 2008).

Segundo Marques (2008), a madeira tem vantagens em comparação com o aço, por exemplo, em seu ciclo de vida, porque tem melhor desempenho no que se refere:

- a energia incorporada;
- a emissão de gases;
- a libertação de poluentes para o ar;
- a produção de poluentes para a água;
- a produção de resíduos sólidos.

O setor madeireiro tem sido marcado por uma larga utilização de madeiras provenientes de reflorestamento, e o eucalipto é uma grande alternativa para a indústria que aposta em sua disponibilidade de fornecimento futuro de matéria-prima. O eucalipto tem mostrado resultados bem satisfatórios quanto ao seu uso na construção civil e indústria moveleira, porém é necessário um tratamento adequado para contornar possíveis problemas e aumentar a versatilidade de espécies já introduzidas no mercado, bem como selecionar espécies ainda não usufruídas para este tipo de mercado (REMADE, 2001).

### **2.2 Painéis de madeira aglomerada**

Os principais responsáveis pela evolução tecnológica nos setores de construção civil e mobiliário, em razão da sua utilização como matéria-prima, são as indústrias de painéis aglomerado (MENDES, 2012).

A utilização de painéis de madeira vem se consolidando cada vez mais, pois é conhecido que o rendimento do desdobro de toras é inferior a 50%, gerando grandes quantidades de resíduos como, maravalhas, costaneiras, refilos, aparas e serragem. O emprego destes resíduos para a geração de um novo produto agrega valor e otimiza o processo produtivo (IWAKIRI et al., 2000; MELO, 2009)

Segundo Melo (2009), painéis aglomerados podem ser produzidos a partir de quaisquer materiais lignocelulósicos que lhes confira densidade pré-estabelecida e resistência mecânica e, destaca diversas vantagens dos painéis de madeira, dentre estas estão:

- Menor exigência de matéria-prima;
- Maior homogeneidade ao longo das peças;
- Redução da anisotropia;
- Eliminação de defeitos naturais e provenientes da secagem.

O custo do adesivo utilizado na produção de painéis pode chegar a 50% do preço do produto final, há também, influência da oscilação do preço do petróleo, Santos (2008), destaca vários tipos de adesivos usados na indústria: Ureia-Formaldeído, Melamina-Formaldeído, Fenol-Formaldeído, Tanino-Formaldeído, dentre outros (HILLIG; HASELEIN; SANTINI, 2002; MELO, 2009).

Em razão de seu baixo custo, fácil manuseio, dentre outros, adesivos à base de uréia-formaldeído são largamente utilizados em indústrias de painéis de madeira (MELO et al., 2010).

O estudo de Melo et al. (2010), mostrou que os painéis produzidos com resina à base de tanino-formaldeído proporcionaram qualidade superior tanto para estabilidade dimensional como para a resistência mecânica, do que os confeccionados com ureia-formaldeído. O aglomerado é o tipo de painel que atualmente é o mais produzido e consumido no mundo (MELO, 2009).

### **2.3 Ensaio não destrutivo**

Métodos de avaliação das propriedades mecânicas dos derivados de madeira necessitam de urgente investimento no que se refere ao desenvolvimento de tecnologia. Esta avaliação nas indústrias nacionais é feita, normalmente, por

amostragem e horas depois de sua produção e, dependendo do resultado obtido a produção é parada para a regularização do processo. Com isto, horas de produção são desperdiçadas e metros cúbicos de painéis descartados (MORALES, 2006).

Pode-se obter o módulo de elasticidade pelos métodos não destrutivos e, também avaliar informações qualitativas sobre a integridade de um componente mecânico (COSSOLINO; PEREIRA, 2010).

Uma vantagem dos ensaios não destrutivos sobre os destrutivos, é que estes são apenas estimativas já que o resultado obtido é realizado por meio de amostragem e, não da peça inteira em uso. Há também, um diferencial na obtenção de informação com rapidez e menos trabalho (STANGERLIN et al., 2010).

Segundo Ballarin, Targa e Palma (2002) citado por Candian; Sales (2009) o método de vibração apesar de simples e de terem ocorrido diversos avanços tecnológicos na área, ainda tem um grande potencial. De acordo com Murphy (2000) citado por Candian; Sales (2009) com novas pesquisas empregando esta técnica, foi comprovado que o uso de características vibracionais para estimar o módulo de elasticidade tem se mostrado de alta confiabilidade.

Os métodos não destrutivos são de implementação rápida, fácil e de baixo custo. Visto isso, é evidente a importância da adequação de ensaios não destrutivos como o método de vibração em placa e *stress wave*, na obtenção das propriedades mecânicas de painéis de madeira, desde que estes apresentem resultados tão satisfatórios quanto os obtidos por métodos destrutivos.

#### **2.4 Ensaios destrutivos – Módulo de elasticidade por flexão estática**

São realizados ensaios de flexão para a determinação do módulo de elasticidade e ruptura. Uma das mais importantes propriedades mecânicas da madeira é o módulo de elasticidade à flexão, que é também um dos indicadores mais usados para medir a resistência da madeira à carregamentos (AMISHEV; MURPHY, 2008).

Uma peça submetida ao ensaio de flexão é deformada em forma de um arco circular e por causa de carregamento externo, este faz com que ocorra um encurtamento das fibras no lado côncavo e alongamento no lado convexo. A peça

no ensaio de flexão sofre ações de tração e compressão ao mesmo tempo. Deste modo, as fibras no lado côncavo estão comprimidas, e no lado convexo estão tracionadas, e o ponto em que ocorre a inversão de tensão é chamado de linha neutra (ROCHA; PAULA; SIQUEIRA, 1988).

### 3 METODOLOGIA

Este projeto de pesquisa é do tipo experimental, pois por um objeto de estudo foram realizados experimentos e destes determinados uma relação (GIL, 2010).

A pesquisa se classifica como quantitativa e qualitativa, pois foi feito um tratamento estatístico e, além disso, considerações sobre os resultados foram discutidos.

Todas as etapas foram realizadas no Departamento de Ciências Florestais e da Madeira (DCFM), do Centro de Ciências Agrárias (CCA), da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

#### 3.1 Caracterização do material

Para o trabalho, foram utilizados painéis aglomerados confeccionados a partir de resíduos da madeira de eucalipto originada da destopadeira, sendo encolados à 120°C, com os adesivos ureia formaldeído, fenol formaldeído e tanino formaldeído (Quadro 1).

Quadro 1 – Características dos painéis utilizados.

<b>Composição dos painéis</b>	<b>Densidade gravimétrica (g.cm<sup>-3</sup>)</b>
100% Ureia formaldeído	0,62
100% Fenol formaldeído	0,60
100% Tanino formaldeído	0,62

Fonte: O autor.

#### 3.2 Ensaio não destrutivos em placas e corpos de prova

##### 3.2.1 Ensaio de vibração livre em placa

O ensaio de vibração livre em placa consiste em um suporte em que é colocada a placa (Figura 1) e aplicado um impacto em que sua frequência é capturada por um microfone localizado na direção oposta (Figura 2). O ensaio foi realizado com a ajuda do software *FF analyzer*.



Figura 1 – Painel aglomerado sobre o suporte para ensaio de vibração livre em placa.

Fonte: O autor.

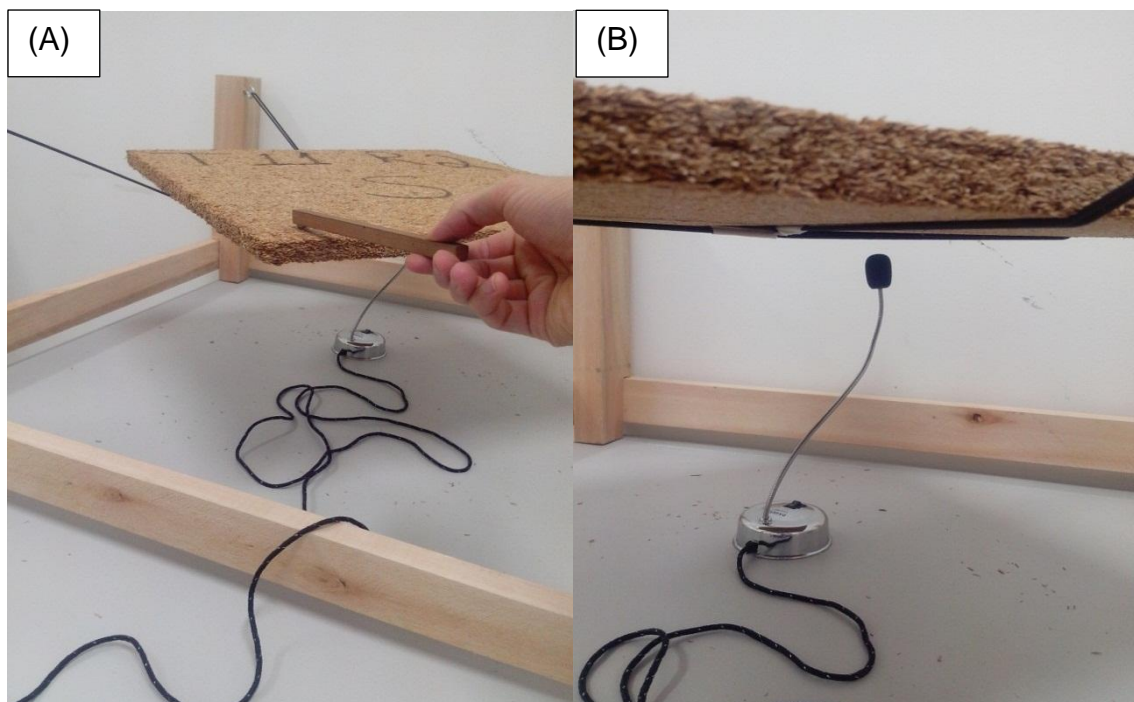


Figura 2 – Realização do ensaio de vibração livre em placa: A – Impacto feito no painel. B – Captura da frequência do impacto.

Fonte: O autor.



De posse das frequências obtidas no ensaio e dimensões dos painéis - 40 x 40 cm (comprimento x largura) - foi calculado o Módulo de Elasticidade (MOE) pela Equação (1):

$$E = \frac{48}{\pi^2} \frac{f^2 m a^2 (1-\nu^2)}{\lambda v t^3} \quad (1)$$

Em que – E: módulo de Young (GPa); f: Frequência natural de vibração (Hz);  $\nu$ : 0,25 – razão de Poisson; a: largura da placa (mm); m: massa (g); t: espessura da placa (mm);  $\lambda$ : 300000 – depende da razão  $a/b$  (a e b são o comprimento da placa);

### 3.2.2 Ensaio de *stress wave* em placa utilizando a “corneta”

O ensaio é feito com a placa inteira de dimensões 40 x 40 cm (comprimento x largura) e foi utilizado o acessório “corneta” acoplado ao equipamento para medir o tempo que o som promovido pelo impacto do pêndulo é captado por um sensor localizado na outra extremidade (Figura 3).

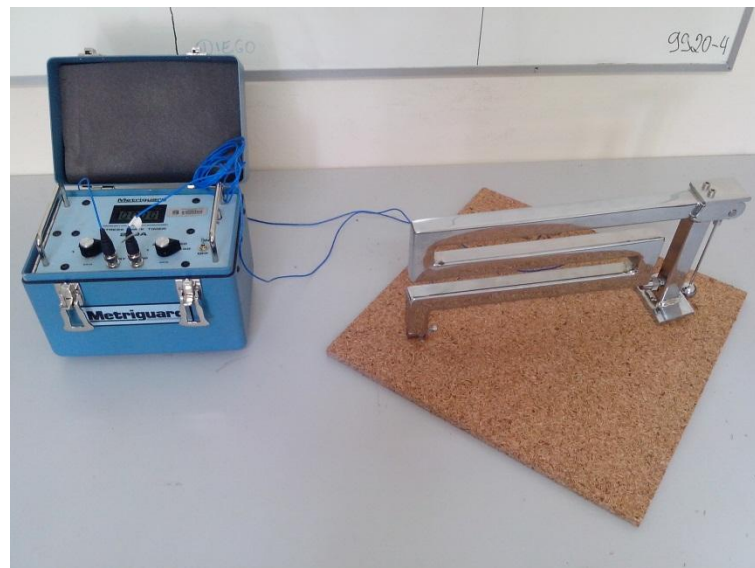


Figura 3 – Ensaio de *stress wave* utilizando a “corneta” em placa de aglomerado.

Fonte: O autor.

Depois de obtidos os dados do ensaio, foi calculado o Módulo de Elasticidade pela Equação (2):

$$MOE_{sw} = \frac{V^2 \cdot \rho}{g} \quad (2)$$

Em que –  $MOE_{sw}$ : Módulo de Elasticidade (MPa);  $V$ : velocidade ( $cm \cdot s^{-1}$ );  $\rho$ : densidade ( $g \cdot cm^{-3}$ );  $g$ : gravidade ( $m \cdot s^{-2}$ ).

### 3.2.3 Ensaio de *stress wave* em placa utilizando a “garra”

Assim como o ensaio *stress wave* em placa utilizando a “corneta”, foi realizado na placa de dimensões 40 x 40 cm (comprimento x largura). Para este ensaio foi utilizado o mesmo equipamento para obtenção dos tempos entre os sensores (Figura 4), porém, foi usado o acessório “garra”.



Figura 4 – Ensaio de *stress wave* utilizando a “garra” em placa de aglomerado.

Fonte: O autor.

Após obtidos os dados, o Módulo de Elasticidade foi calculado pela Equação (2).

### 3.2.4 Ensaio de *stress wave* em corpos de prova utilizando a “garra”

Este ensaio é o mesmo que foi descrito no item 3.2.3, a diferença é que o corpo de prova utilizado foi um filete de dimensões 25 cm x 5 cm (comprimento x largura), obtido a partir da placa de cada tratamento dos ensaios anteriores (Figura

5). Este mesmo filete foi utilizado no ensaio destrutivo. O Módulo de Elasticidade também foi calculado pela Equação (2).

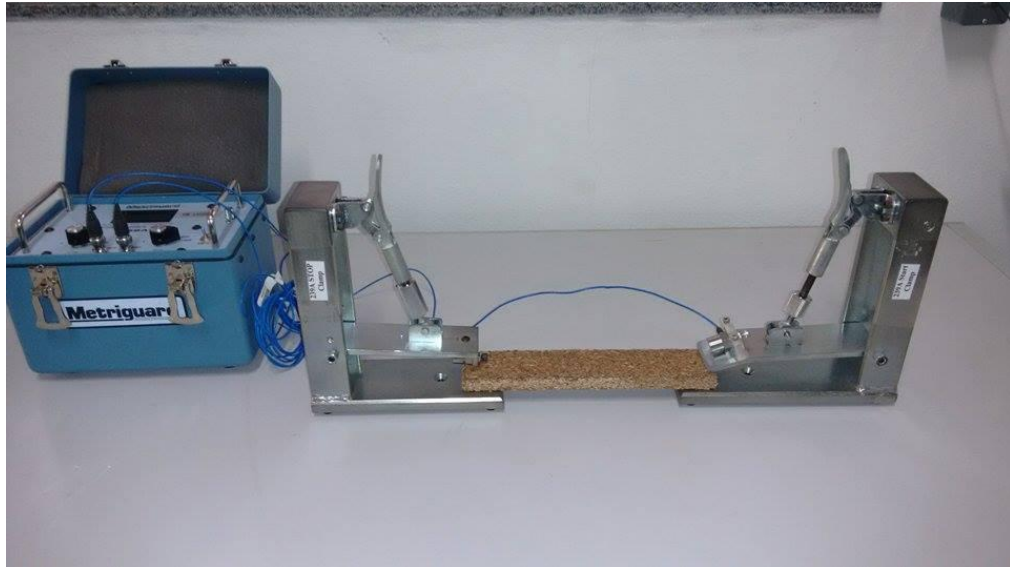


Figura 5 – Ensaio de *stress wave* em corpo de prova utilizando a “garra”.

Fonte: O autor.

### 3.3 Ensaio destrutivo em corpo de prova a flexão estática

O ensaio de flexão foi feito pelo método de vão livre, em que os corpos de prova foram apoiados nas extremidades e uma força aplicada no centro. Este ensaio foi realizado em uma máquina universal de ensaios com capacidade de 10 toneladas e sistema automático de aquisição de dados.

Para o ensaio foram utilizados corpos de prova com dimensões 25 cm x 5 cm (comprimento x largura), retirados de cada painel.

### 3.4 Análise estatística dos dados

Para a análise dos dados, foi feito um DIC em fatorial (2 fatores) sendo o fator 1 (adesivo) em três níveis e o fator 2 (métodos de ensaio) em cinco níveis e, havendo diferença significativa foi realizado teste de Tukey a 5% de significância.

## 4 RESULTADOS

Na Tabela 1 consta o resumo da Anova. No resultado temos que, as colas (adesivos) foram significativas ao nível de 5% de probabilidade, e os métodos de ensaios e a interação cola x método foram significativos ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 1 – Resumo da anova do fatorial.

FV	GL	QM	F
Cola	2	73387.30	3.26 *
Método	4	629657.60	27.94 **
Cola x Método	8	881410.51	39.11 **
Resíduo	75	22538.84	

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade.

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Na Tabela 2 se encontram as médias entre as colas e os métodos de ensaio testados.

Tabela 2 – Resultado das médias de interação entre as colas x métodos de ensaio.

Colas*	Métodos (MPa) **				
	B1	B2	B3	B4	B5
A1	1407.99 bA	1267.67 bA	1456.39 aA	924.97 aB	894.04 bB
A2	922.63 cB	975.44 cB	1008.31 bB	962.62 aB	1654.37 aA
A3	1768.57 aA	1639.25 aA	1019.55 bB	764.92 aC	760.07 bC

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Letras minúsculas para colunas e letras maiúsculas para as linhas.

\*A1 – 100% ureia formaldeído; A2 – 100% fenol formaldeído; A3 – 100% tanino formaldeído;

\*\*B1 – Vibração livre em placa; B2 – *Stress wave* em placa utilizando a “corneta”; B3 – *Stress wave* em placa utilizando a “garra”; B4 – *Stress wave* em corpos de prova utilizando a “garra”; B5 – Flexão estática em corpos de prova.

As variações nos resultados mostram que os ensaios são bem interessantes. Dependendo do adesivo utilizado, o comportamento da estimativa do módulo de elasticidade se comportou de maneira diferente.

Sabe-se que o método de ensaio por flexão estática é o mais utilizado, portanto, o método mais confiável. Para o adesivo 100% ureia formaldeído, a técnica utilizando-se o *stress wave* com “garra” apresentou-se compatível com o método destrutivo de obtenção do Módulo de Elasticidade, portanto mais seguro na estimativa (Figura 6).

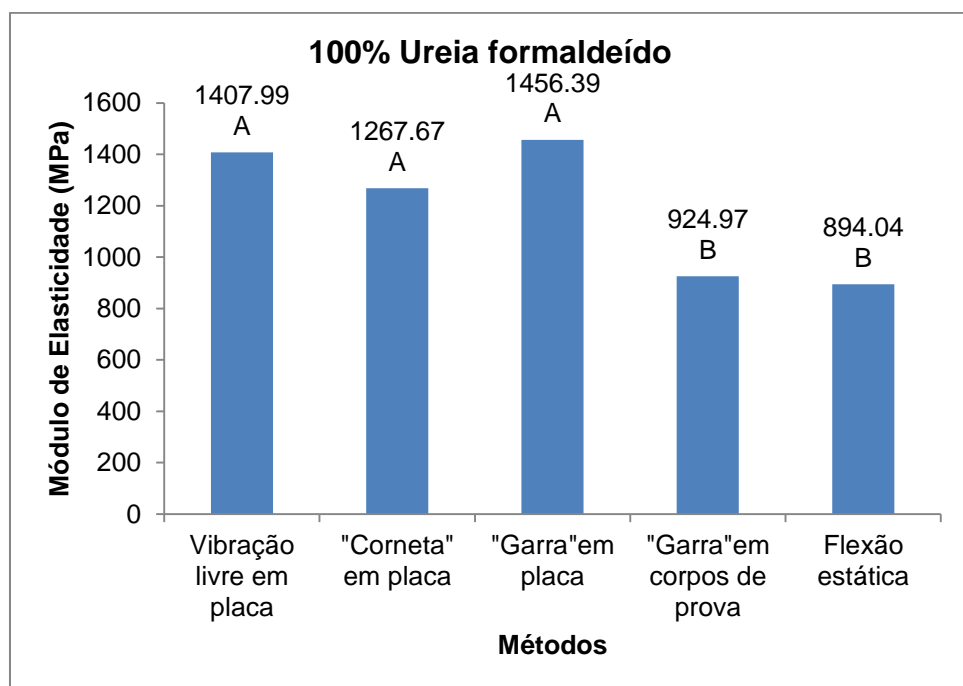


Figura 6 – Comportamento da estimativa do Módulo de Elasticidade para diferentes métodos em função do adesivo 100% ureia formaldeído.

Fonte: O autor.

Para o adesivo 100% fenol formaldeído, o método que mais se aproximou do MOE (destrutivo) em valores absolutos foi o método em que se utilizou o *stress wave* com “garra”, uma vez que nenhum dos métodos não destrutivos foram significativamente diferentes (Figura 7).

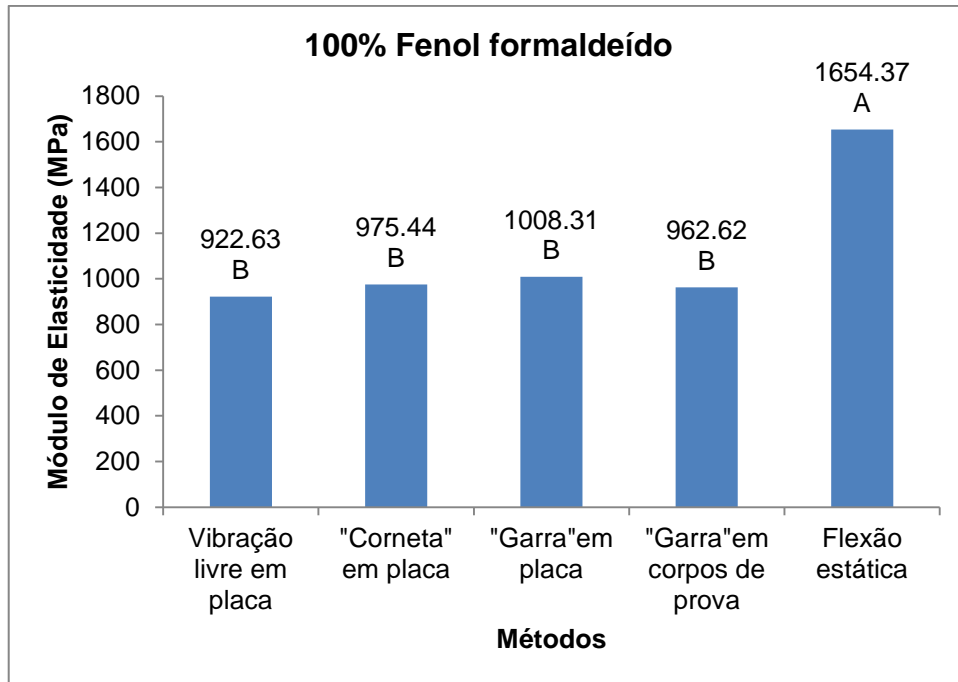


Figura 7 – Comportamento da estimativa do Módulo de Elasticidade para diferentes métodos em função do adesivo 100% fenol formaldeído.

Fonte: O autor.

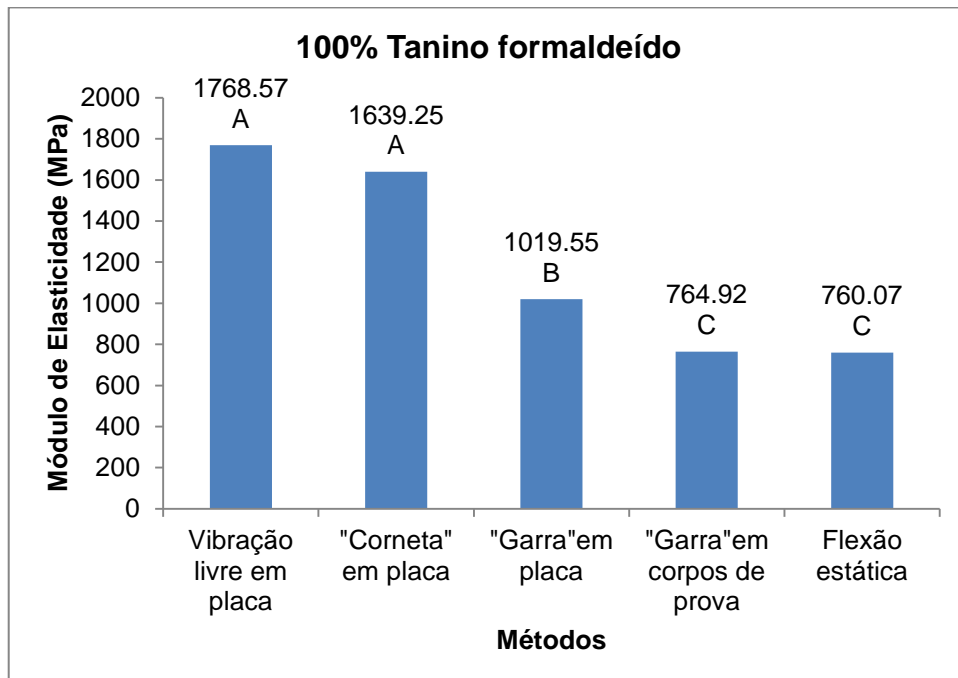


Figura 8 – Comportamento da estimativa do Módulo de Elasticidade para diferentes métodos em função do adesivo 100% tanino formaldeído.

Fonte: O autor.

Para o adesivo 100% tanino formaldeído, apenas o ensaio não destrutivo pelo método de *stress wave* utilizando a “garra” não se diferiu do ensaio de flexão estática, recomendando-se utiliza-lo, pois foi o valor do Módulo de Elasticidade (MOE) que mais se aproximou do método destrutivo (Figura 8).

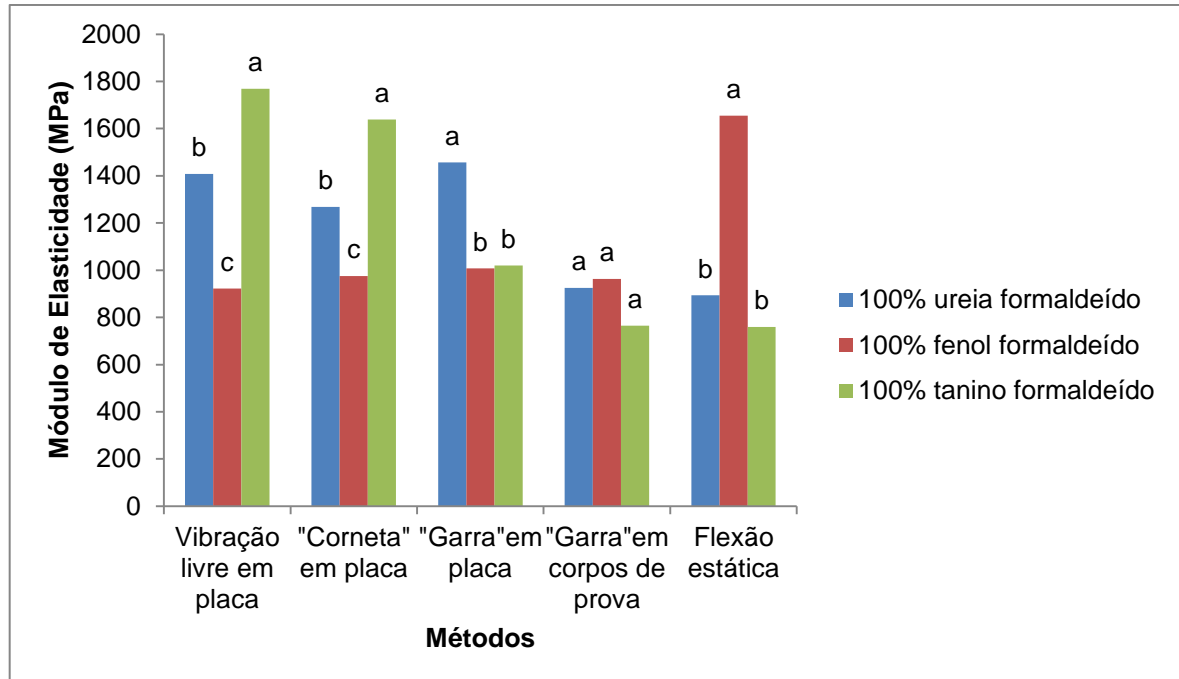


Figura 9 – Comportamento da estimativa do Módulo de Elasticidade para diferentes métodos em função dos diferentes adesivos.

Fonte: O autor.

Para o ensaio de vibração livre em placa e *stress wave* em placa utilizando a “corneta” o adesivo 100% tanino formaldeído apresenta o melhor resultado de MOE, pois apresentaram maior valor absoluto deste (Figura 9).

Devido ao maior valor absoluto do Módulo de Elasticidade, para o método de ensaio *stress wave* em placa utilizando a “garra”, o melhor resultado foi com o adesivo 100% ureia formaldeído e, para o ensaio destrutivo de flexão estática, o adesivo 100% fenol formaldeído apresentou melhor resultado (Figura 9).

Para o ensaio de *stress wave* em corpos de prova utilizando a “garra”, não houve diferença significativa entre os adesivos (Figura 9), portanto, neste aspecto, uma análise econômica dos adesivos deve ser realizada, para que, dentro das especificações exigidas para o painel se indique o melhor adesivo.

Stangerlin et al. (2009), em seu estudo de painéis aglomerados de madeira-bambu viu que apesar da diferença significativa entre as médias dos módulos de elasticidade obtidos, o uso do aparelho de ultrassom mostrou ser uma ferramenta eficiente para avaliação não-destrutiva de painéis aglomerados.

Os resultados obtidos por Morales (2006) para o controle de qualidade de parâmetros mecânicos de painéis OSB, mostram a possibilidade da utilização dos métodos de ultrassom e *stress wave*.



## 5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que o método de ensaio não destrutivo de *stress wave* em corpos de prova utilizando a “garra”, é o mais indicado, pois aproxima-se do método de flexão estática.

O método de ensaio *stress wave* utilizando o acessório “corneta”, apesar de pelo equipamento, ser o mais indicado para ensaios em painéis, não apresentou os melhores resultados quando comparado aos outros ensaios. No entanto, observou-se que teve pouca variação entre as repetições para os tipos de adesivos.

O adesivo 100% tanino formaldeído, apresentou melhores resultados para o ensaio de vibração livre em placa e ensaio *stress wave* em placa utilizando a “corneta”.

## 6 REFERÊNCIAS

A Madeira de Eucalipto. **Revista da Madeira**. 59. ed. set. 2001. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=10&subject=Eucalipto&title=A%20Madeira%20de%20Eucalipto](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=10&subject=Eucalipto&title=A%20Madeira%20de%20Eucalipto)>. Acesso em: 29 jun. 2014.

AMISHEV, D.; MURPHY, G. E. In-forest assessment of veneer grade Douglas-fir logs based on acoustic measurement of wood stiffness. **Forest Products Journal**, v. 58, n. 11, p. 42-47. 2008. Disponível em: <<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=20953451>>. Acesso em: 27 jun. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: 1997 – Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro, 1997.

CADIAN, M.; SALES, A. Aplicação das técnicas não-destrutivas de ultra-som, vibração transversal e ondas de tensão para a avaliação da madeira. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 83-98, 2009. Disponível em: <<http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/viewFile/9420/7046>>. Acesso em: 02 jul. 2014.

COSSOLINO, L. C.; PEREIRA, A. H. A. **Informativo Técnico-Científico/ATCP Engenharia Física**. Módulos elásticos: visão geral e métodos de caracterização. 2010. Disponível em: <<http://www.investagro.com.br>>. Acesso em: 28 jun. 2014.

FIORELLI, J.; DIAS, A. A.; COIADO, B. Propriedades mecânicas de peças com dimensões estruturais de *Pinus* sp: correlação entre resistência à tração e classificação visual. **Revista Árvore**, Viçosa – MG, v.33, n.4, p.741-750, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v33n4/v33n4a17.pdf>>. Acesso em: 29 jun. 2014.

GIL, A. C. **Como elaborar Projetos de Pesquisa**. São Paulo: Atlas, ed. 5, 2010.

HILLIG, E.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J. Propriedades Mecânicas de Chapas Aglomeradas Estruturais Fabricadas com Madeiras de Pinus, Eucalipto e Acácia-Negra. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 59-70, 2002. Disponível em: <<http://bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/11990>>. Acesso em: 28 mai. 2015.

IWAKIRI, S. et. al. Resíduos de Serrarias na Produção de Painéis de Madeira Aglomerada de Eucalipto. **Scientia Agraria**, v. 1, n. 1-2, p. 23-28, 2000. Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs/index.php/agraria/article/view/963/789>>. Acesso em: 28 mai. 2015.

MARQUES, L. E. M. M. **O papel da madeira na sustentabilidade da construção**. 2008. 111 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008. Disponível em: <<http://paginas.fe.up.pt/~jmfaria/TesesOrientadas/MIEC/MadeiraSustentabConstrucao.pdf>>. Acesso em: 29 jun. 2014.

MELO, R. R. **Propriedades físico-mecânicas e resistência a biodeterioradores de chapas aglomeradas constituídas por diferentes proporções de madeira e casca de arroz**. 2009. 94f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009. Disponível em: <[http://cascavel.ufsm.br/tede/tde\\_arquivos/10/TDE-2009-03-26T135647Z-1944/Publico/RAFAELRODOLFODEMELO.pdf](http://cascavel.ufsm.br/tede/tde_arquivos/10/TDE-2009-03-26T135647Z-1944/Publico/RAFAELRODOLFODEMELO.pdf)>. Acesso em: 26 mai. 2015.

MELO, R. R. et al. Avaliação das Propriedades Físico-Mecânicas de Painéis Aglomerados de *Eucalyptus grandis* colados com Ureia-Formaldeído e Tanino-formaldeído. **Floresta**, Curitiba, v. 40, n. 3, p. 497-506, 2010. Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs/index.php/floresta/article/view/18911>>. Acesso em: 24 mai. 2015.

MENDES, R. F. et al. Determinação do Módulo de Elasticidade de Painéis Aglomerados por Stress Wave Timer. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 2, p. 117-122,

2012. Disponível em: <<http://www.floram.org/files/v19n2/v19n2a1.pdf>>. Acesso em: 24 mai. 2015.

MORALES, E. A. M. **Técnicas de propagação de ondas na estimativa de propriedades mecânicas de painéis OSB**. 2006. 210f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/88/88131/tde-28022007-105842/publico/teseElen.pdf>>. Acesso em: 24 mai. 2015.

ROCHA, J. S.; PAULA, E. V. C. M.; SIQUEIRA, M. L. Flexão estática em amostras pequenas livre de defeitos. **Acta Amazônica**. v. 18, n. 2, p. 147 – 162. 1988. Disponível em: <<https://acta.inpa.gov.br/fasciculos/18-2/PDF/v18n2a14.pdf>>. Acesso em: 28 jun. 2014.

STANGERLIN, D. M. et al. Estimativa do módulo de elasticidade em painéis aglomerados por meio de emissão de ondas ultra-sonoras. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, p. 17-22, 2010. Disponível em: <[http://www.researchgate.net/publication/232794575\\_Estimativa\\_do\\_mdulo\\_de\\_elasticidade\\_em\\_painis\\_aglomerados\\_por\\_meio\\_de\\_emisso\\_de\\_ondas\\_ultra-sonoras](http://www.researchgate.net/publication/232794575_Estimativa_do_mdulo_de_elasticidade_em_painis_aglomerados_por_meio_de_emisso_de_ondas_ultra-sonoras)>. Acesso em: 24 mai. 2015.

STANGERLIN D. M. et al. **Avaliação Não-Destrutiva de Painéis Aglomerados Madeira-Bambu por meio de Ultrassom**. II Congresso Nordeste de Engenharia Florestal, Campina Grande, 2009. Disponível em: <[http://www.researchgate.net/publication/232795170\\_avaliao\\_no-destrutiva\\_de\\_painis\\_aglomerados\\_madeira-bambu\\_por\\_meio\\_de\\_ultrassom](http://www.researchgate.net/publication/232795170_avaliao_no-destrutiva_de_painis_aglomerados_madeira-bambu_por_meio_de_ultrassom)>. Acesso em: 02 jul. 2015.