

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS  
ENGENHARIA FLORESTAL**

**WENDELL RANGEL QUEIROZ DE SOUZA**

**INFLUÊNCIA DO LENHO DE REAÇÃO NA RESISTÊNCIA MECÂNICA DA  
MADEIRA DE *Eucalyptus* sp.**

**CRUZ DAS ALMAS**

**2016**

**WENDELL RANGEL QUEIROZ DE SOUZA**

**INFLUÊNCIA DO LENHO DE REAÇÃO NA RESISTÊNCIA MECÂNICA DA  
MADEIRA DE *Eucalyptus* sp.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia como pré-requisito para a obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Florestal, sob a orientação do Professor Dr. Clair Rogério da Cruz.

**CRUZ DAS ALMAS**

**2016**

WENDELL RANGEL QUEIROZ DE SOUZA

INFLUÊNCIA DO LENHO DE REAÇÃO NA RESISTÊNCIA MECÂNICA DA  
MADEIRA DE *Eucalyptus* sp.

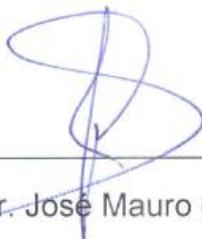
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora da  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia como pré-requisito para a obtenção  
de grau de Bacharel em Engenharia Florestal.

APROVADO EM: 14, 01, 2016

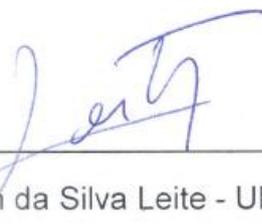
BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Clair Rogério da Cruz – UFRB  
(Orientador)



Prof. Dr. José Mauro de Almeida - UFRB



Prof. Dr. Elton da Silva Leite - UFRB

Dedico este trabalho aos meus pais,  
meus irmãos e a todos que acreditaram em mim.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por sempre me dar forças para superar os obstáculos e nunca desistir dos meus sonhos;

A minha mãe Islândia pelo seu amor, carinho, ensinamentos, apoio e conforto principalmente nas horas difíceis;

Ao meu pai Everaldo pelos seus ensinamentos, apoio e amizade em todas as horas;

Ao meu padrasto José Carlos pelos conselhos e apoio, sempre;

Aos meus irmãos Anna Daiane, Danilo e Anna Adrielle por sempre acreditarem no meu potencial e por estar sempre ao meu lado incentivando;

A minha namorada Adriana pelo seu amor, companheirismo, amizade e apoio, fazendo tudo pelo meu sucesso, sempre;

Aos meus amigos da república Uallas, Joka, Victor, Geraldo e William, pelos momentos de descontração e alegria;

Ao meu orientador Dr. Clair Rogério da Cruz, pela confiança que depositou em mim para a realização deste trabalho contribuindo para minha formação profissional, pelos seus ensinamentos, paciência e disposição;

Aos meus amigos Nayara (mangue), Joaquim e Leonardo pela contribuição na realização deste trabalho;

A todos os meus amigos e colegas que ganhei ao longo do curso;

A professora Dr<sup>a</sup> Rozimar de Campos Pereira, pelos ensinamentos, pelos conselhos e contribuição na minha formação profissional e pessoal;

A todos os mestres que contribuíram imensamente para a minha formação.

**MUITO OBRIGADO A TODOS!**

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível!”

(CHARLES CHAPLIN)

## RESUMO

O uso da madeira do gênero *Eucalyptus* no setor florestal brasileiro tem aumentado devido ao seu rápido crescimento e a melhoria nas propriedades da madeira. Apesar desse aumento, a presença de defeitos na madeira, tais como, madeira de reação e madeira juvenil, podem diminuir a qualidade do produto final. O objetivo do trabalho foi avaliar a resistência mecânica em diferentes posições radiais e longitudinais em uma árvore de *Eucalyptus* sp com elevado grau de inclinação do tronco. A árvore foi seccionada em toras de 1,3 m de comprimento, medidos no eixo do tronco. Foram retiradas as pranchas centrais das toras contendo o lenho tracionado, o lenho oposto, lenho à direita e à esquerda da madeira de reação. Os corpos de provas foram submetidos aos ensaios de flexão estática, compressão paralela às fibras, tração perpendicular às fibras, fendilhamento, cisalhamento e dureza. Não houve diferença significativa para as propriedades mecânicas estudadas no sentido longitudinal da árvore, também não foi encontrada interação significativa entre o lenho e a posição da tora na altura da árvore. Na posição radial, o lenho de tração apresentou maior valor para o módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras. A madeira de *Eucalyptus* sp não apresentou variação nas propriedades mecânicas no sentido longitudinal.

**Palavras-chave:** eucalipto, ensaios mecânicos, madeira de tração.

## ABSTRACT

The use of the *Eucalyptus* wood in the Brazilian sector forest has increased due to its fast growth and improvements of the wood's properties. Even though this is increasing, the quality of the final product can be affected, due to the presence of defects in wood, such as reaction wood and juvenile wood. The objective of this study was to evaluate the mechanical resistance to different positions radially and longitudinally in a tree of *Eucalyptus* sp, with a high degree of bole inclination. The tree was divided into logs of 1,3 m, measured in the center of the bole. In the center planks of wood, we removed the logs of the wood tractioned, wood opposite, wood right and left of the reaction timber. The samples were assayed by the tests of static bending, parallel compression of the fibrils, perpendicular traction of the fibrils, cracking, shear and hardness. There was no significant difference in mechanical properties studied from the longitudinal sense of the tree, and between wood and position of the length in the tree height. In the radial position, the traction wood displayed more value of the elastic module in the parallel compression of the fibrils. The *Eucalyptus* sp. wood showed little variation in the mechanical properties in the longitudinal sense.

**Keywords:** eucalyptus, mechanical testing, tension wood.

## SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO .....	9
2- OBJETIVO .....	10
3- REVISÃO DE LITERATURA .....	11
3.1- O eucalipto na produção de madeira serrada .....	11
3.2 - Lenho de reação .....	12
3.3 - Propriedades mecânicas da madeira.....	13
3.4 - Ensaio mecânicos .....	14
3.4.1 – Flexão estática.....	14
3.4.2 – Compressão paralela às fibras .....	14
3.4.3 – Tração perpendicular às fibras.....	15
3.4.4 – Fendilhamento .....	15
3.4.5 – Cisalhamento .....	15
3.4.6 – Dureza Janka.....	16
4- MATERIAL E MÉTODOS.....	16
4.1 - Flexão estática.....	17
4.2 - Compressão paralela às fibras .....	18
4.3 - Tração perpendicular às fibras.....	19
4.4 - Fendilhamento .....	19
4.5 - Cisalhamento .....	20
4.6 - Dureza Janka.....	20
4.7 – Análise de dados.....	21
5- RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	21
6- CONCLUSÃO .....	24
7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	25

## INTRODUÇÃO

A madeira é um material amplamente utilizado desde os primórdios da civilização, tornando-se uma matéria-prima essencial para os mais diversos fins. Por se tratar de um recurso renovável, a madeira apresenta maiores vantagens quando comparada a outros materiais como o aço, o concreto, o plástico, etc.

Devido à grande preocupação com o uso predatório das florestas nativas para obtenção de madeira, o setor florestal tem desenvolvido diversas pesquisas buscando a substituição das espécies nativas por outras de ciclo curto e oriundas de reflorestamento.

Sousa Júnior (2004) destaca que dentre as espécies exóticas introduzidas no Brasil, as do gênero *Eucalyptus* são as que mais apresentam vantagens e possibilidades de uso múltiplo. O gênero tem se destacado devido ao rápido crescimento e grande potencial de adaptação às mais diversas condições ambientais.

Apesar da grande empregabilidade da madeira de *Eucalyptus*, Ferreira (2007) destaca que muitas vezes as espécies deste gênero podem apresentar alterações indesejáveis em suas propriedades (mecânicas, físicas e anatômicas) devido a presença do lenho de reação. Dentre as propriedades da madeira afetadas pela formação de madeira de reação a resistência aos esforços mecânicos é fundamental, pois provocam impacto direto na utilização da madeira para estruturas.

O conhecimento das propriedades mecânicas é de grande importância para determinar adequadamente a aplicação da madeira às mais variadas utilizações, principalmente em relação aquelas que requerem uma maior resistência e rigidez (MULLER et al., 2014; CAIXETA, 2003)

Estudos que relacionem o lenho de tração e seu efeito nas propriedades mecânicas da madeira de *Eucalyptus* ainda são muito incipientes e tendo em vista a importância do gênero para o setor florestal nacional, faz-se necessário uma melhor caracterização do lenho de reação de modo que possa aumentar o aproveitamento desta importante matéria-prima.

## 1- OBJETIVO

Avaliar a resistência mecânica em diferentes posições radiais e longitudinais de uma árvore de *Eucalyptus* sp. com elevado grau de inclinação do tronco e presença de lenho de reação.

## 2- REVISÃO DE LITERATURA

### 3.1- O eucalipto na produção de madeira serrada

A crescente utilização de madeira de reflorestamento tem se tornado mais evidente nos últimos anos, principalmente devido aos questionamentos existentes em relação à exploração predatória das florestas nativas (VALLE, 2009).

Segundo a ABRAF (2013), a área destinada ao plantio de eucalipto no Brasil apresentou crescimento médio de 6,03% ao ano entre 2006 e 2012, chegando a 5.102.030 ha de área plantada em todo o país, sendo que em 2012 o consumo brasileiro de madeira em tora proveniente de plantios florestais foi de 182,4 milhões de metros cúbicos (m<sup>3</sup>), dos quais aproximadamente 122 milhões de m<sup>3</sup> eram de madeira de eucalipto, para usos múltiplos.

Dias Junior et al. (2013) ressaltam que o avanço dos estudos técnico-científicos realizados com inúmeras espécies do gênero *Eucalyptus*, vem fornecendo informações importantes para uma melhor empregabilidade deste material e contribuído com o crescente uso do eucalipto em diversos seguimentos do setor florestal brasileiro como o de carvão, papel e celulose, construção civil e movelaria.

Mesmo apresentando-se como uma alternativa para o abastecimento da indústria madeireira, essa matéria-prima possui limitações próprias e inerentes às madeiras oriundas de florestas de rápido crescimento (GONÇALEZ, et al. 2006), principalmente, devido a defeitos provenientes da liberação das tensões de crescimento e da elevada retratibilidade (ELEOTÉRIO et al., 2014) acarretando baixos rendimentos na produção de madeira serrada após o processamento mecânico (LIMA, 2005).

Para Amparado et al. (2008), a incorreta utilização aliada a falta de tecnologias que possam otimizar as características do produto final são os principais motivos de ainda existir preconceito quanto ao uso do eucalipto na indústria de serrados.

### 3.2 - Lenho de reação

O lenho de reação é um tecido formado tanto por efeitos genotípicos como por estímulos mecânicos (SOUSA, 2004). Árvores que se desenvolvem sofrendo esforços externos contínuos, como inclinação do terreno e incidência de vento predominante, além de fatores inerentes à própria árvore, como a ocorrência de copa assimétrica, e a massa dos galhos são mais susceptíveis a formação do lenho de reação (MONTEIRO et al., 2010), podendo; na maioria das vezes, a sua presença ser verificada a partir do crescimento excêntrico da medula na tora, ou seja, o deslocamento da medula do seu centro geométrico sugere a presença do lenho de tração ou compressão (FERREIRA et al. 2008).

Nas folhosas, o lenho de reação é denominado de lenho de tração e é formado no lado superior à inclinação do fuste da árvore, enquanto que nas coníferas, este é chamado de lenho de compressão e é formado no lado inferior à inclinação do fuste (DU YAMAMOTO, 2007; FERREIRA , 2007).

Clair et al. (2006) evidenciam que a madeira de tração também pode se formar em fustes não inclinados, com o objetivo de a árvore se movimentar no espaço em busca de luz, o que ocorre principalmente em florestas tropicais densas, mostrando que a formação da madeira de tração ocorre no intuito de a árvore reorientar gradualmente em busca de algum aspecto, devido a mudanças de luminosidade, por ocupação de um maior espaço no ambiente, ou até mesmo por sobrecarga da copa em árvores jovens com o fuste flexível.

Segundo Vidaurre et al. (2013) o lenho de reação pode ser classificado como um defeito devido ao fato de que a presença de tecidos de reação, por menor que seja sua quantidade, causa mudanças significativas nas propriedades da madeira e, conseqüentemente, na qualidade desta. Os autores ainda ressaltam que o fato é comprovado pela aplicação de normas para classificar madeira para produtos sólidos em países da Europa, América do Norte, Ásia e na Oceania, tanto na sua forma roliça como na serrada. O estabelecimento destas normas é uma tentativa de eliminar toras ou madeira serrada com madeira de reação, demonstrando que os problemas causados pelo lenho defeituoso são bem conhecidos pela indústria.

Ferreira (2007) explica que o lenho de tração pode alterar o comportamento da madeira frente a diversos processos industriais, diminuindo seu aproveitamento e sua qualidade. Árvores com lenho de tração apresentam alterações químicas, físicas

e anatômicas, fazendo com que conseqüentemente as propriedades mecânicas das mesmas sejam alteradas (SOUSA, 2004; FERREIRA, 2007).

Segundo Panshin e Zeeuw (1980) *apud* Vidaurre et al.(2013) na madeira de tração a resistência à compressão paralela às fibras, a resistência à flexão estática, o módulo de elasticidade em flexão estática e o cisalhamento são menores em qualquer teor de umidade, quando comparadas à madeira oposta correspondente.

### 3.3 - Propriedades mecânicas da madeira

As propriedades mecânicas avaliam a capacidade da madeira em suportar as solicitações mecânicas. Normalmente são mensuradas considerando-se a resistência – aptidão em suportar solicitações mecânicas propriamente ditas – e a rigidez – avaliada pelo módulo de elasticidade –, que reporta à proporcionalidade existente entre tensões e respectivas deformações específicas na fase de comportamento elástico-linear. Sua avaliação acontece em duas direções principais: paralela e normal às fibras (BENJAMIN, 2006).

A caracterização das propriedades mecânicas da madeira do *Eucalyptus* é fundamental para definir de forma adequada a sua aplicação as mais variadas utilizações. Desta forma, combinados a outros fatores, os parâmetros dessas propriedades possibilitam que a madeira seja classificada em usos a que se mostra mais apropriada, como peças estruturais, ambientes internos e externos de habitações, movelaria e painéis (ARAÚJO, 2007; TRIANOSKI, 2012).

Scanavaca Junior (2001) afirma que dentre as propriedades mecânicas mais estudadas destacam-se a resistência aos esforços de compressão, flexão, tração, cisalhamento e fendilhamento. Os resultados da avaliação da resistência mecânica variam conforme a direção da aplicação da carga em relação aos três eixos ortogonais da madeira (SILVA, 2002), e ainda podem ser influenciados por defeitos na madeira (EVANS et al., 2000).

### **3.4 - Ensaio mecânicos**

Sousa Júnior (2004) destaca que as propriedades mecânicas podem ser divididas em características de resistência e elasticidade. Sendo que as características de resistência incluem a compressão e a tração paralela e perpendicular às fibras, flexão estática, cisalhamento, fendilhamento, dureza e resiliência. Em relação às características de elasticidade, estão incluídos os módulos de elasticidade, os quais estão diretamente relacionados com a rigidez do material.

#### **3.4.1 – Flexão estática**

Moreschi (2010) aponta que a propriedade mecânica de flexão estática refere-se ao comportamento que a madeira possui quando submetida a uma carga aplicada em sua face tangencial, de modo a provocar seu flexionamento. O autor ressalta que a madeira, até determinado ponto, apresenta uma característica elástica, onde se a força que a deforma for cessada, ela ainda apresenta capacidade de voltar ao seu estado original. Por outro lado quando a madeira passa do ponto máximo de elasticidade ela deixa de ser elástica e passa a ser plástica, ou seja, não apresenta mais a capacidade em retornar ao seu estado original, mesmo quando a força que a deforma é cessada.

No teste de flexão estática, dois parâmetros normalmente determinados são o módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE), os quais são muito importantes na caracterização tecnológica da madeira; ambos dão uma boa aproximação da resistência do material, constituindo-se, na prática, parâmetros de grande aplicação na classificação dos materiais (SILVA et al., 2005).

#### **3.4.2 – Compressão paralela às fibras**

A compressão paralela às fibras da madeira é tida como a propriedade mecânica de referência pela ABNT NBR 7190:1997 porque, a partir dela, podem-se estimar outras propriedades mecânicas como a compressão normal às fibras e a tração paralela às fibras (SCALIANTE et al., 2011).

No ensaio de compressão paralela às fibras é aplicada uma carga sobre a peça de madeira a fim de se verificar o valor máximo que a espécie suporta sem ser esmagada (PEREIRA, 2013). O ensaio é realizado em corpos de prova de seção

quadrada, cuja altura é equivalente a quatro vezes a largura da seção, neste ensaio é determinada a tensão de ruptura e o módulo de elasticidade. Esta propriedade é muito utilizada em estruturas de madeira para dimensionamento de pilares, vigas, comparação entre espécies e ligações estruturais (MELO, 2010).

### **3.4.3 – Tração perpendicular às fibras**

A tração perpendicular às fibras consiste na separação total das camadas de crescimento, por esforços dirigidos no sentido radial da madeira (IPT, 1985). É medida de forma perpendicular às fibras para verificar o valor máximo suportado sem que haja fendilhamento (PEREIRA, 2013).

A propriedade de tração perpendicular às fibras é muito utilizada na comparação entre espécies, ligações estruturais, estruturas em arco e peças sujeitas a esforços de torção (MELO, 2010).

### **3.4.4 – Fendilhamento**

A resistência ao fendilhamento refere-se à capacidade que um bloco de madeira contendo uma ranhura tem em resistir à rachadura, quando a ele é submetida uma força para afastar as bordas da ranhura (MORESCHI, 2010). Essa propriedade tem importância nos entalhes de apoio de vigas e rachaduras com a penetração de pregos (MELO, 2010).

### **3.4.5 – Cisalhamento**

Segundo Pereira (2013) o cisalhamento é a separação das fibras, ocorrida por meio de seu deslizamento, umas sobre as outras, em planos paralelos. Os ensaios são realizados a fim de medir a resistência da peça de madeira, submetida a esforços mecânicos aplicados no sentido paralelo ou perpendicular às fibras.

O estudo do cisalhamento é de grande importância para a caracterização das propriedades mecânicas da madeira, pois conhecer tais propriedades possibilita o emprego adequado deste material, além de aumentar a sua durabilidade e segurança (ROEL, 2010). Hara (2014) destaca a importância desta propriedade na

construção civil, onde a determinação da resistência ao cisalhamento é fundamental na fabricação de tesouras para coberturas.

#### 3.4.6 – Dureza Janka

O ensaio de dureza Janka avalia a resistência oferecida pelo material à penetração superficial de uma esfera de aço, com seção diametral de 1cm<sup>2</sup>, a qual é introduzida até metade de seu diâmetro (COLENCI, 2006). A dureza está correlacionada com as propriedades de resistência da madeira sendo muito utilizada na comparação de propriedades entre espécies (MELO, 2010).

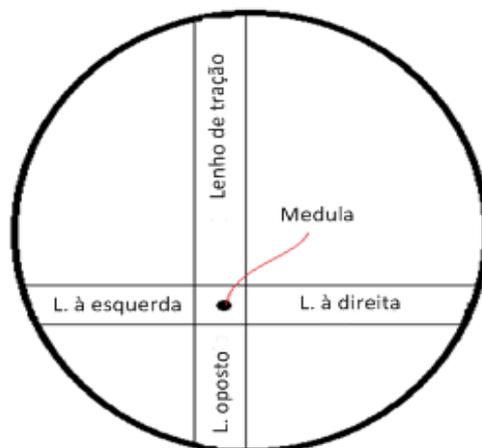
A dureza superficial, segundo Hansson & Antti (2006), é especialmente importante nas aplicações da madeira destinadas à indústria moveleira e ainda segundo Santos et al. (2008) a determinação da dureza é muito importante para utilização da madeira em pisos, embalagens e outras utilizações estruturais em que sofra esforços nas direções perpendiculares às fibras, fixações mecânicas, etc..

### 3- MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado no *campus* da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, localizado no município de Cruz das Almas, Bahia (12° 40'19" latitude sul, 39°06'23" de longitude e com altitude média de 220 m). Segundo classificação de Köppen (1948) o clima é do tipo AS. A precipitação média é de 1.224 mm ano<sup>-1</sup>, a temperatura média anual de 24,5°C e a umidade relativa do ar de aproximadamente 82% (SOARES FILHO et al., 2008). O solo é classificado como Latossolo Amarelo Álico Coeso, de textura argilosa e relevo plano (RIBEIRO, 1998).

A árvore utilizada neste estudo foi obtida em um plantio de *Eucalyptus sp.*, com aproximadamente 48 anos de idade, localizado no *campus* da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.

O exemplar foi seccionado em toras de 1,3 m de comprimento, medidos no eixo do tronco. Foram retiradas as pranchas centrais das toras contendo o lenho tracionado e o lenho oposto, também foram retiradas as pranchas centrais do lenho à direita e à esquerda da madeira de reação (Fig. 1).



**Figura 1:** Esquema de retirada das pranchas centrais contendo o lenho tracionado, o lenho oposto, lenho à direita e à esquerda da madeira de reação.

Após a retirada das pranchas foram confeccionados os corpos de prova de acordo com cada ensaio (dureza Janka, flexão estática, compressão paralela às fibras, tração perpendicular às fibras, fendilhamento e cisalhamento) segundo a norma ASTM D143-94 (2007). Todos os ensaios foram feitos com a utilização de uma máquina de ensaio universal, marca EMIC, modelo DL-30.000, dotada de sistema automatizado de aquisição dos dados.

Os delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados num esquema fatorial 7 x 4. O primeiro fator foi composto por sete alturas do fuste (1,3 m, 2,6 m, 3,9 m, 5,2 m, 6,5 m, 9,1 m e 11,7 m) e o segundo fator por quatro posições radiais do lenho (lenho de reação, lenho oposto, lenho à direita e lenho à esquerda).

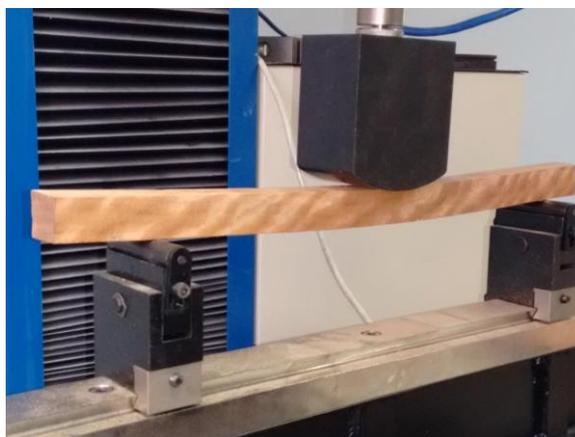
Todos os corpos de prova confeccionados para a realização dos ensaios mecânicos foram acondicionados no Laboratório de Mecânica e Ensaio do complexo de Engenharia Florestal até atingirem a umidade de equilíbrio local de 10%.

#### 4.1 - Flexão estática

Para o teste de flexão estática foram utilizados 72 corpos de prova com dimensões de 2,5 x 2,5 x 41 cm (radial, tangencial e longitudinal).

Os corpos de prova foram colocados em um vão de 36 cm de comprimento para a realização do ensaio a uma velocidade controlada de 1,3mm/min (Figura 2).

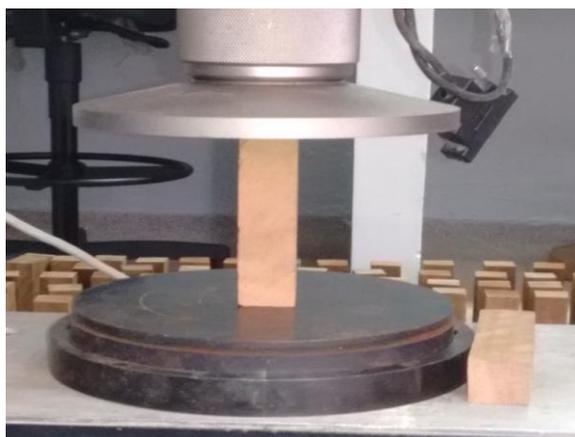
Para avaliar as propriedades dos corpos de prova, determinaram-se os módulos de elasticidade (MOE) e de ruptura (MOR) à flexão estática.



**Figura 2:** Posição do corpo de prova durante o ensaio de flexão estática.

#### 4.2 - Compressão paralela às fibras

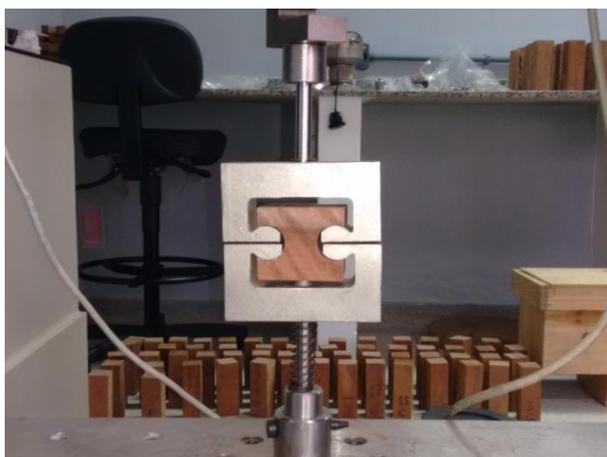
Para o ensaio de compressão axial foram testados 69 corpos de prova com dimensões de 2,5 x 2,5 x 10 cm (radial, tangencial e longitudinal). O teste foi realizado a uma velocidade controlada de 0,3 mm/min. Para avaliar as propriedades dos corpos de prova, determinaram-se os módulos de elasticidade (MOE) e de ruptura (MOR) à compressão paralela às fibras.



**Figura 3:** Posição do corpo de prova durante o ensaio de compressão paralela às fibras.

### 4.3 - Tração perpendicular às fibras

Na realização do ensaio mecânico de tração perpendicular às fibras foram testados 55 corpos de prova nas dimensões de 5 x 5 x 5 cm. O teste foi realizado a uma velocidade controlada de 2,5 mm/min. A Figura 4 ilustra a posição do corpo de prova durante o ensaio.



**Figura 4:** Posição do corpo de prova durante o ensaio de tração perpendicular às fibras.

### 4.4 - Fendilhamento

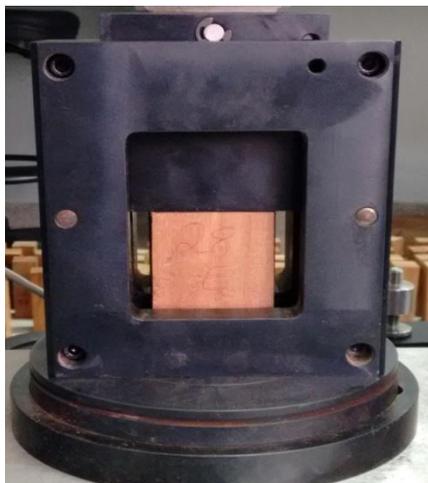
No teste de fendilhamento foram confeccionados e testados 54 corpos de prova, estes com dimensões de 5 x 5 x 9 cm (Fig. 5). O teste foi realizado a uma velocidade controlada de 2,5 mm/min



**Figura 5:** Posição do corpo de prova no momento do teste de fendilhamento.

#### 4.5 - Cisalhamento

Foram avaliados 40 corpos de prova nas dimensões de 5 x 5 x 6 cm. O teste foi realizado a uma velocidade controlada de 0,6 mm/min. A Figura 6 ilustra a posição do corpo de prova no momento do ensaio.



**Figura 6:** Posição do corpo de prova durante o teste de cisalhamento.

#### 4.6 - Dureza Janka

Para o ensaio de dureza Janka foram testados 63 corpos de prova com dimensões de 5 x 5 x 15 cm. O teste foi realizado a uma velocidade controlada de 6,0 mm/min. A posição do corpo de prova no momento do teste é ilustrada na Figura 7.



**Figura 7:** Posição do corpo de prova no momento do teste de dureza Janka.

#### 4.7 – Análise de dados

Após a coleta dos dados, foi realizada a análise de variância utilizando o software estatístico *Sisvar*. Para os resultados significativos foi feita a comparação de médias através do teste de Duncan.

### 4- RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1 está apresentado o resumo dos resultados das análises de variância para as propriedades: módulo de ruptura e módulo de elasticidade em flexão estática, resistência e módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras, resistência ao fendilhamento, resistência à tração perpendicular às fibras, resistência ao cisalhamento e dureza Janka.

Verifica-se pelos resultados obtidos que para a posição da tora na altura da árvore a resistência mecânica da madeira de *Eucalyptus* sp. não apresentou diferença significativa para as propriedades mecânicas estudadas (Tabela 1). Segundo Vidaurre (2010) o fato de não haver variação nas propriedades mecânicas nas diferentes alturas da árvore é uma vantagem para o setor industrial, pois possibilita a obtenção de produtos mais homogêneos quanto à resistência mecânica.

Em relação aos valores médios de flexão estática 61,3 MPa para o MOR e 8.210,55 MPa para o MOE, estes estão abaixo dos resultados obtidos por outros autores como Gonzalez et al. (2006), que ao estudarem as características tecnológicas da madeira de *Eucalyptus grandis*, obtiveram médias de 84,14 MPa e 15.647 MPa respectivamente para a resistência e o módulo de elasticidade em flexão estática. Os resultados obtidos para o módulo de elasticidade e resistência à compressão paralela às fibras foram superiores aos encontrados por Müller et al. (2014), que ao avaliarem as propriedades mecânicas da madeira de *Eucalyptus benthamii*, os autores encontraram médias de 37,34 MPa e 2.565 MPa para resistência à compressão paralela e módulo de elasticidade respectivamente.

Os baixos valores de resistência a flexão estática e compressão paralela às fibras podem estar associados à presença de lenho de tração ao longo de todo o fuste da árvore, provocando alterações nas taxas de celulose-lignina e provocando alterações nas propriedades mecânicas.

**Tabela 1** – Resumo da análise de variância efetuada para resistência à flexão estática ( $F_0$ ) (MPa), módulo de elasticidade à flexão estática ( $E_0$ ) (MPa), resistência à compressão paralela às fibras ( $F_c$ ) (MPa), módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras ( $E_c$ ) (MPa), resistência ao fendilhamento ( $F_f$ ) (MPa), resistência à tração perpendicular às fibras ( $F_t$ ) (MPa), resistência ao cisalhamento ( $F_{ci}$ ) (MPa) e dureza Janka ( $F_d$ ) (N).

FV	QM			QM			QM		QM		QM		QM	
	GL	$F_0$	$E_0$	GL	$F_c$	$E_c$	GL	$F_f$	GL	$F_t$	GL	$F_{ci}$	GL	$F_d$
Tora	6	123.66	2607526	6	75.12	1721153	6	0.066	6	2.00	6	25.02	6	1316053
Lenho	3	2174.08	14441287	3	458.34	11558165*	3	0.017	3	2.34	3	28.05	3	3872604
Tora x Lenho	17	643.33	5055175	18	74.00	2274769	16	0.031	17	2.83	14	17.92	16	1220204
Erro	45	775.82	8560426	41	173.82	2990198	28	0.031397	27	2.12	16	14.20	37	1410413
Média		61.3	8210.55		46.09	4267.77		0.7922		6.69		9.13		8843.07
C.V. (%)		45.44	35.63		28.60	36.43		22.37		21.78		41.25		13.43

\* = Significativo a 5% de probabilidade de erro.

A média para a resistência ao fendilhamento 0,79 MPa foi inferior ao encontrado pelo IPT (1989), que ao caracterizar as propriedades mecânicas da madeira de *Eucalyptus citriodora*, encontrou valor médio de 1,2 MPa para madeira verde. Quanto a resistência a tração perpendicular às fibras, pôde-se verificar valor médio (6,69 MPa) superior aos apresentados pela ABNT (1997) na NBR 7190, para 15 espécies de eucaliptos, cuja resistência variou entre 2,6 MPa (*E. grandis*) e 6,0 MPa (*Eucalyptus punctata*). Esse alto valor na resistência a tração perpendicular às fibras para o *Eucalyptus* sp., pode estar relacionado a presença de lenho de reação no fuste da árvore que provoca um incremento na resistência desta propriedade mecânica.

A resistência ao cisalhamento 9,13 MPa foi consideravelmente inferior aos valores encontrados por Sousa Júnior (2004), que ao avaliar as propriedades mecânicas da madeira de *Eucalyptus cloeziana* e de *Eucalyptus urophylla* o autor encontrou valores médios; respectivamente, de 16,8 MPa e 13,4 MPa. A propriedade mecânica de cisalhamento pode ter apresentado valores diferentes aos encontrados na literatura devido à diferença entre as regiões de obtenção do material de estudo.

Para a dureza Janka, o resultado obtido 8.843 N, foi superior ao verificado por Caixeta et al. (2003), que, após estudarem 44 genótipos de eucaliptos, observaram valor médio de 8.178,75 N para esta dureza. A umidade de equilíbrio (10%) dos corpos de prova testados neste estudo pode ter influenciados na obtenção de altos valores para dureza Janka quando comparados aos obtidos na literatura a umidades de equilíbrio superiores 12% e 15%.

Em relação aos lenhos, os resultados demonstram que houve diferença significativa apenas para o módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras, onde o lenho de reação (R) apresentou maior valor 5.140 MPa (Tabela 2).

**Tabela 2** – Valores médios para resistência à compressão paralela às fibras ( $F_c$ ) e módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras ( $E_c$ ) do lenho de reação (R), lenho oposto (O), lenho à esquerda (E) e lenho à direita (D) da madeira de *Eucalyptus sp.*

Propriedades		Lenho			
		R	O	E	D
Compressão paralela às fibras	$F_c$ (MPa)	51.64 a	42.54 a	43.20 a	41.89 a
Módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras	$E_c$ (MPa)	5.140 a	3.558 b	3.707 b	3.900 b

\*Letras diferentes na mesma linha indicam valores médios estatisticamente diferentes pelo teste Duncan a 5% de probabilidade.

Ao avaliar o lenho de tração e o lenho oposto de quatro clones de *Eucalyptus* em diferentes topografias, Ferreira (2007) encontrou resultados diferentes para flexão estática onde o lenho de tração apresentou os maiores valores médio, sendo que estes variaram de 61,3 MPa a 82,7 MPa para resistência à flexão e 2.988 MPa a 4.563 MPa para o módulo de elasticidade em flexão estática.

## 5- CONCLUSÃO

A madeira de *Eucalyptus sp* estudada não apresentou variação nas propriedades mecânicas no sentido longitudinal. Radialmente, o lenho de reação apresentou maior módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras quando comparado a outras posições amostradas.

## 6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **D143-94: standard test methods for small clear specimens of timber**. West Conshohocken: ASTM; 2007

AMPARADO, K. F.; CARVALHO, A. M.; GARCIA, R. A.; LATORRACA, J. V. F. Caracterização do rendimento em madeira serrada de *Eucalyptus saligna* Smith nas condições verde e seca. **Revista Forestal Venezolana**, Mérida, v. 52, n. 1, p. 71-76, 2008. Disponível em: <<http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/29087>>. Acesso em: 15 jul. 2015.

ARAUJO, H. J. B. Relações funcionais entre propriedades físicas e mecânicas de madeiras tropicais brasileiras. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 37, n. 3, p. 399-416, 2007. Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs/index.php/floresta/article/viewArticle/9937>>. Acesso em: 15 maio 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR – 7190: **Projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro: ABNT; 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF 2013 ano base 2012**. Brasília: ABRAF, 2013. 146 p. Disponível em: <<http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/3910>>. Acesso em: 15 maio. 2015.

BENJAMIN, C. A. **Estudo da estrutura anatômica e das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *corymbia (eucalyptus) citriodora* e *Eucalyptus grandis***. 2006. 158 p. Tese (Doutorado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas – Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, Botucatu, 2006. Disponível em: <<http://www.pg.fca.unesp.br/Teses/PDFs/Arq0130.pdf>>. Acesso em: 20 Ago. 2015.

CAIXETA R. P.; TRUGILHO P. F.; ROSADO S. C. S.; LIMA J. T. Propriedades e classificação da madeira aplicada à seleção de genótipos de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 23-51, 2003. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-67622003000100006](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622003000100006)>. Acesso em: 22 nov. 2015.

CLAIR, B; RUELLE, J; BEAUCHÊNE, J; PRÉVOST, M. F; FOURNIER, M. Tension wood and opposite wood in 21 tropical rain forest species: occurrence and efficiency of the G-layer. **IAWA Journal**, v.27, n.3, p.329–338, nov. 2006. Disponível em: <<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00112579/document>>. Acesso em: 2 out. 2015.

COLENCI, A. R. **Desenvolvimento de equipamento para avaliação em campo da dureza de madeiras para dormente ferroviário**. 2006. 112f. Tese (Doutorado em Agronomia Energia da Agricultura) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, São Paulo. 2006. Disponível em: <<http://repositorio.unesp.br/handle/11449/101773>>. Acesso em: 18 jan. 2016.

DIAS JUNIOR, A. F.; SANTOS, P. V.; PACE, J. H. C.; CARVALHO, A. M.; LATORRACA, J. V. F. Caracterização da madeira de quatro espécies florestais para uso em movelaria. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 04, n. 01, p. 93-107, 2013. Disponível em: <<https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/cienciadamadeira/article/view/4048/3192>>. Acesso em: 20 jul. 2015.

DU, S.; YAMAMOTO, F. An overview of the biology of reaction wood formation. **Journal of Integrative Plant Biology**, Beijing, v. 49, n. 2, p. 131-143, 2007. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1744-7909.2007.00427.x/epdf>>. Acesso em: 10 set. 2015.

ELEOTÉRIO, J. R.; HORNBERG, K. F.; REICHERT, D.; BAGATTOLI, T. R.; MENEGHELLI, I. Efeito da espécie e da condição de secagem na formação de defeitos na madeira serrada de eucalipto. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 101, p. 41-47, 2014. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr101/cap04.pdf>>. Acesso em: 01 maio. 2015.

EVANS, J. W.; SENFT, J. F.; GREEN, D. W. Juvenile wood effecting red alder: analysis of physical and mechanical data to delineate juvenile and mature wood zones. **Forest Products Journal, Madison**, v. 50, n. 7/8, p. 75-87, 2000. Disponível em: <<http://www.treesearch.fs.fed.us/pubs/5719>>. Acesso em: 20 Ago. de 2015.

FERREIRA, S. **Lenho de tração em *Eucalyptus* spp. cultivado em diferentes topografias**. 2007. 169 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

FERREIRA, S.; LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F.; MONTEIRO, T. C. Excentricidade da medula em caules de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias. **Revista Cerne**, Lavras, v.14, n. 1, p. 335-340. 2008. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/pdf/744/74411119007.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2015.

GONÇALEZ, J. C.; BRENDA, L. C. S.; BARROS, J. F. M.; MACEDO, D. G.; JANIN, G.; COSTA, A. F.; VALE, A. T. Características tecnológicas das madeiras de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden e *Eucalyptus cloeziana* F. Muell visando ao seu aproveitamento na indústria moveleira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 329-341, 2006. Disponível em: <<http://www.bioline.org.br/abstract?id=cf06029&lang=pt>>. Acesso em: 20 Maio 2015.

HANSSON, L.; ANTTI, A. L. The effect of drying method and temperature level on the hardness of wood. **Journal of Materials Processing Technology**, Skellefteå, v.171, p.467-470, 2006. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013605008101>>. Acesso em: 18 jan. 2016.

HARA, M. M.; MATOSKI, A.; MAGAJEWSKI, C.; CASALI, J. M. Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras de madeira mediante esforço induzido por punção. **Revista Engenharia e Construção Civil**, Curitiba, v. 1, n. 2, p. 40-53, 2014. Disponível em: <<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/346?mode=full>>. Acesso em: 19 jan. 2016.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT **Sistema de Informações de Madeiras Brasileiras**. São Paulo: IPT, 1989b. 291p. (Relatório nº 27 078).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT **Madeira: o que é e como pode ser processada e utilizada**. São Paulo: IPT, 1985. 189p. (Boletim ABPM, nº 36).

KÖPPEN, W. Climatologia: com um estúdio de los climas de la tierra. Publications In: **Climatology. Laboratory of Climatology, New Gersey**, 1948. 104p.

LIMA, I. L. **Influência do desbaste e da adubação na qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden**. 2005. 137 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba. Disponível em:<<http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/4853>>. Acesso em: 20 Set. 2015.

MELO, J. E. **Influência das dimensões dos corpos de prova e da velocidade de ensaio na caracterização de três madeiras de espécies tropicais**. 2010. 119f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, 2010. Disponível em:<<http://repositorio.unb.br/handle/10482/8026>>. Acesso em: 18 jan. 2016.

MONTEIRO, T. C.; SILVA, R. V.; LIMA, J. T.; BARAÚNA, E. E. P.; CARVALHO, D. M.; LIMA, M. T. Influência do lenho de tração nas propriedades físicas da madeira de *Eucalyptus* sp. **Journal of Biothcnology and Biodiversity**, v. 1, n. 1, p. 6-11. 2010. Disponível em:< <http://www.bioline.org.br/pdf?jy10002>>. Acesso em 10 jun. 2015.

MORESCHI, J.C. **Propriedades tecnológicas da madeira**. Curitiba: Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Setor de Ciências Agrárias/UFPR, 2010. 176 p.

MÜLLER, B. V.; ROCHA, M. P.; CUNHA, A. B.; KLITZKE, R. J.; NICOLLETI, M. F. Avaliação das principais propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 21, n. 4, p. 525-542, 2014. Disponível em:<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2179-80872014000400013](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2179-80872014000400013)>. Acesso em: 22 nov. 2015.

PEREIRA, A. F. **Madeiras brasileiras: guia de combinação e substituição**. São Paulo: Blucher, 2013. 132p.

RIBEIRO, L. P. **Os Latossolos Amarelos do Recôncavo Baiano: gênese, evolução e degradação**. Salvador: SEPLANTEC, CADCT, 1998. 98p.

ROEL, P. **Comportamento ao cisalhamento da madeira de *Eucalyptus citriodora* através do ensaio “off-axis”**. 2010. 86f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2010. Disponível em:<[http://acervodigital.unesp.br/handle/unesp/172671?locale=es\\_ES](http://acervodigital.unesp.br/handle/unesp/172671?locale=es_ES)>. Acesso em: 19 jan. 2016.

SANTOS, J. A.; SANTOS, J.; BORRALHO, N.; ARAÚJO, J. Caracterização das potencialidades de utilização da madeira de híbridos de eucalipto. **Silva Lusitana**, Lisboa, v. 16, n. 1, p. 63-81, 2008. Disponível em:<<http://repositorio.lneg.pt/bitstream/10400.9/725/1/CARACTERIZAPOTENCIALI.pdf>>. Acesso em: 18 jan. 2016.

SCALIANTE, R. M.; ALMEIDA, D. H.; MACEDO, L. B. Ensaio de fluência e de compressão paralela às fibras para situações da madeira à umidade de equilíbrio e saturada. **Revista Madeira: Arquitetura e Engenharia**, São Paulo, v. 12, n. 30, p. 19-30, 2011. Disponível em:<<http://madeira.set.eesc.usp.br/article/view/187/pdf>>. Acesso em: 17 jan. 2016.

SCANAVACA JUNIOR L. **Caracterização silvicultural, botânica e tecnológica do *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake e de seu potencial para a utilização em serraria**. 2001. 108 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001. Disponível em:<[www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11142/tde-22052002-154220/](http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11142/tde-22052002-154220/)>. Acesso em> 20 Ago. 2015.

SILVA, J. C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira**. 2000. 181f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002. Disponível em:<<http://www.ipef.br/servicos/teses/arquivos/silva,jc.pdf>>. Acesso em: 20 Ago. 2015.

SILVA, J. C.; MATOS, J. L. M. M.; OLIVEIRA, J. T. S.; EVANGELISTA, W. V. Influência da idade e da posição radial na flexão estática da madeira de *Eucalyptus grandis* hill ex. Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 795-799, 2005. Disponível em:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48829514>>. Acesso em: 17 jan. 2016.

SOARES FILHO, W. S.; LEDO, C. A. S.; PASSOS, O. S.; SOUZA, A. S.; QUINTELA, M. P.; MATTOS, L. A. Potencial de obtenção de novos porta-enxertos em cruzamentos envolvendo limoeiro 'Cravo', laranjeira 'Azeda', tangerineira 'Sunki' e híbridos de *Poncirus trifoliata*. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 1, p. 223-228, 2008. Disponível em:<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-29452008000100041](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-29452008000100041)>. Acesso em: 25 jul. 2015.

SOUSA JÚNIOR, W. P. **Propriedades físicas, mecânicas e anatômicas das madeiras de *Eucalyptus cloeziana* e de *Eucalyptus urophylla* oriundas dos municípios de turmalina e de Paraopeba (MG)**. 2004. 64 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004. Disponível em:<<http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/2511?show=full>>. Acesso em 4 nov. 2015.

SOUSA L. C. **Caracterização da madeira de tração em *Eucalyptus grandis* e sua influência na produção de polpa celulósica**. 2004. 77f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004. Disponível em:<<https://www.researchgate.net/publication/29436557> Caracterizacao da madeira de

tracao em Eucalyptus grandis e sua influencia na producao de polpa celulosa>. Acesso em: 30 jul. 2015.

TRIANOSKI, R. **Avaliação da qualidade da madeira de espécies de pinus tropicais por meio de métodos convencionais e não destrutivos**. 2012. 554 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. Disponível em:<[http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao/defesas/pdf\\_dr/2012/t315\\_0415-D.pdf](http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao/defesas/pdf_dr/2012/t315_0415-D.pdf)>. Acesso em: 20 maio 2015.

VALLE, M. L. A. **Propriedades da madeira de eucalipto de primeira e segunda rotação, visando a sua utilização como madeira preservada**. 2009. 80f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009. Disponível em:<[http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select\\_action=&co\\_obra=161974](http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=161974)>. Acesso em: 10 set. 2015.

VIDAURRE, G. B. **Caracterização anatômica, química e físico-mecânica da madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum*) para produção de energia e polpa celulósica**. 2010. 74f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010. Disponível em:<[http://www.tede.ufv.br/tedesimplificado/tde\\_arquivos/3/TDE-2010-08-10T142450Z-2531/Publico/texto%20completo.pdf](http://www.tede.ufv.br/tedesimplificado/tde_arquivos/3/TDE-2010-08-10T142450Z-2531/Publico/texto%20completo.pdf)>. Acesso em 25 nov. 2015.

VIDAURRE, G. B.; LOMBARDI, L. R.; NUTTO, L.; FRANÇA, F. J. N.; OLIVEIRA, J. T. S.; ARANTES, M. D. C. Propriedades da madeira de reação. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 20, n.1, p. 26-37, 2013. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/floram/v20n1/a03v20n1.pdf>>. Acesso em: 5 maio 2015.