III CBCTEM
Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

COMPARAÇÃO DOS MÓDULOS DE ELASTICIDADE DE EUCALIPTO E CARVALHO NA COMPRESSÃO NORMAL ÀS FIBRAS

Thais de Souza Marcchiori[1]
Pedro Gutemberg de Alcântara Segundinho[1]
Ana Boa[2]
Marcos Oliveira de Paula[3]
João Paulo Maia[1]

[1] Universidade Federal do Espírito Santo - Centro de Ciências Agrárias e Engenharias / Departamento de Ciências Florestais e da Madeira
[2] Universidade Federal do Espírito Santo - Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais / Departamento de Ciências Florestais e da Madeira
[3] Universidade Federal de Viçosa / Departamento de Engenharia Florestal

COMPARAÇÃO DOS MÓDULOS DE ELASTICIDADE DE EUCALIPTO E CARVALHO NA COMPRESSÃO NORMAL ÀS FIBRAS

Resumo: É notável o quão importante é o setor de construção em qualquer país e o peso da palavra sustentabilidade em tempos atuais. No Brasil o material madeira ainda não é amplamente utilizado em construções, quando comparado a países da América do Norte e Europa. As madeiras ensaiadas no trabalho foram eucalipto e carvalho. A fim de aprofundar os estudos sobre o tema, este trabalho objetivou realizar uma comparação entre as duas espécies de madeira. A análise foi realizada a partir da comparação das propriedades físicas e mecânicas das espécies de madeira de eucalipto e carvalho. Em quase todos os ensaios à madeira de carvalho apresentou valores superiores ao da madeira de eucalipto. Entretanto, à madeira de eucalipto também se mostra adequada para a confecção e uso de calços de madeira.

Palavras-chave: propriedades físicas, propriedades mecânicas, madeira de eucalipto, madeira de carvalho.

COMPARISON OF EUCALYPTUS AND OAK ELASTICITY MODULES IN NORMAL COMPRESSION OF FIBERS

Abstract: It is remarkable how important the construction sector in any country is and the weight of the word sustainability in today's times. In Brazil the material, wood, is still not widely used in constructions when compared to North American and European countries. The woods tested in the work were Eucalyptus and Carvalho. In order to deepen the studies on the subject, this work aimed to make a comparison between the two species of wood. The analysis was performed by comparing the physical and mechanical properties of eucalyptus and carvalho wood species. In almost all the tests to the wood of Carvalho presented values superior to the wood of eucalipto. However, eucalyptus wood is also suitable for the manufacture and use of wooden shims.

Keywords: physical properties, mechanical properties, eucalyptus wood, carvalho wood.

1. INTRODUÇÃO

Por ser um material renovável, reciclável e biodegradável, a madeira é considerada ambientalmente sustentável, se comparada a outros materiais utilizados em construção civil, tais como aço e alumínio, e ainda não deixando a desejar se comparada em quesitos estruturais, uma vez que possui elevada resistência, durabilidade, isolamento térmico e acústico. Além disso, suas características organolépticas ainda agregam qualidade estética e variedade de escolha das soluções a se adotar (MARQUES, 2008).

A madeira é um material proveniente do crescimento de um ser vivo, sendo assim, existem variações de suas características em função do meio ambiente onde ocorreu seu desenvolvimento. Essa mesma natureza biológica a submente a variados mecanismos de deterioração (ZENID, 2013).

Apesar de sua versatilidade, o uso da madeira na construção estrutural nem sempre ocorre em condições satisfatórias, no tocante à tecnologia empregada ao material. A diversidade de espécies brasileiras demonstra um forte potencial madeireiro a ser explorado (TELES, 2009).

As principais espécies plantadas no Brasil são de investimentos e de programas de florestamento de empresas para assim fornecer madeira para as indústrias bem estabelecidas e diversificadas do país (por exemplo, papel e celulose, madeira de pinho para madeira serrada, painéis de madeira, aço, madeira para energia). Segundo a Tropical Timber Market Report (ITTO, 2009) os eucaliptos e pinus dominam as plantações florestais do Brasil. As plantações florestais desempenham um papel fundamental no desenvolvimento socioeconômico do país, contribuindo para a produção de bens e serviços, agregando valor aos produtos florestais e gerando empregos, câmbio, impostos e renda. A plantação total do país está estimada em 6.582.700 hectares em 2008, sendo que 93% dos quais são dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*. Os 7,0% restantes se referem a outras espécies, nomeadas como acácia (*Acacia parviceps*), seringueira (*Hevea brasiliensis*), paricá (*Piptadenia peregrina*), teca (*Tectona grandis*) e pinho do paraná (Araucaria angustifolia).

À madeira laminada colada (MLC) vem se tornando uma alternativa para o uso racional da madeira serrada. Por permitir uma maior variabilidade de dimensões e ser capaz de assumir dimensões geométricas não disponíveis no mercado de madeira serrada, a MLC ganhou popularidade em países europeus e da América do Norte. No Brasil ainda existem poucas fábricas de MLC, porém, nos últimos anos houve um desenvolvimento acadêmico e pesquisas nessa área, o que tem levado a um número maior de informações a respeito (TELES,2009).

Portanto, são necessários estudos que contribuam para o emprego da técnica de MLC em cada região ou estado, e devem ser realizadas pesquisas para a avaliação das madeiras que melhor possam se adaptar a essa técnica, principalmente as madeiras provenientes de florestas plantadas.

O trabalho teve como objetivo geral comparar as propriedades físicas e mecânicas das madeiras de eucalipto e carvalho submetidas ao esforço de compressão normal às fibras, compressão paralela ás fibras, cisalhamento e ensaios não destrutivos (longitudinal, transversal e stress wave) com vista à aplicação em MLC.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para o trabalho foram utilizadas madeiras de eucalipto e carvalho. 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.

Inicialmente o lote de peças de madeira (6 calços de *Eucaliptus* spp. e 5 calços de carvalho) que estava acondicionado em local coberto no Laboratório de Estruturas de Madeira para que atingisse o teor de umidade de equilíbrio local, passou por uma classificação visual e uma classificação pelo módulo de elasticidade para o enquadramento das classes de resistência definidas pela NBR 7190 – Projeto de Estruturas de Madeira (ABNT, 1997).

Como tinham comprimento, largura e espessura diferentes entre si, os calços passaram pela serra circular para que se obtivesse um tamanho padrão. Posteriormente foram feitos os ensaios não destrutivos de Vibração Transversal (a), Longitudinal (b), Stress Wave (c) nos calços como ilustrado na Figura 1. A partir dos ensaios pôde-se calcular os módulos de elasticidade conforme mostrado nos resultados da Tabela 1.

(a) (b) (c)

Figura 1. Metodologia adotada para os ensaios. (a) fotografia do método utilizado para o ensaio longitudinal. (b) fotografia do método utilizado para o ensaio de stress wave. (c) fotografia do método utilizado para o ensaio de vibração transversal.
Fonte: O autor (2015).

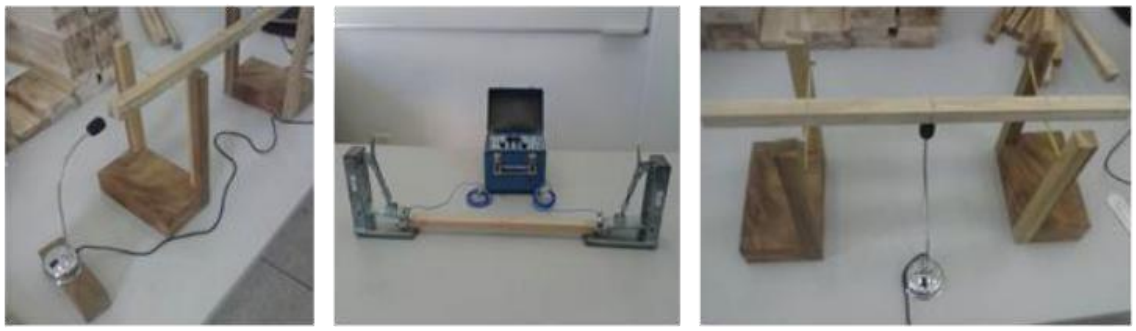
Na sequência os calços foram redimensionados em peças menores de onde foram obtidos os corpos de prova para os ensaios de compressão paralela ás fibras, compressão normal ás fibras, cisalhamento, retração e inchamento e os corpos de prova não destrutivos para os ensaios longitudinal, transversal e stress wave. Todos os ensaios com os corpos de prova foram feitos com a madeira seca e saturada, exceto os ensaios não destrutivos.

O dimensionamento das madeiras de eucalipto e carvalho ao esforço de compressão normal às fibras, compressão paralela ás fibras, cisalhamento e ensaio longitudinal, transversal e stress wave, foi realizado por meio da NBR 7190 – Projeto de Estruturas de Madeira (ABNT, 1997), a partir da caracterização das propriedades físicas e mecânicas das madeiras.

Para caracterização das propriedades mecânicas foi utilizada a norma americana ASTM D 143 – *Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber* (ASTM, 2000) para determinar as resistências à compressão normal às fibras, compressão paralela às fibras, cisalhamento e ensaio longitudinal, transversal e stress wave, conforme mostrado nas Figuras 2 e 3. Os resultados obtidos encontram-se nas Tabelas 2 e 3 para os ensaios destrutivos secos e saturados, respectivamente e na Tabela 4 para os ensaios não destrutivos.

(a) (b)

Figura 2. Metodologia adotada para os ensaios. (a) fotografia do método utilizado para o ensaio de compressão paralela. (b) fotografia do método utilizado para o ensaio de cisalhamento.
Fonte: O autor (2016).



(a) (b) (c)

Figura 3. Metodologia adotada para os ensaios. (a) fotografia do método utilizado para o ensaio longitudinal. (b) fotografia do método utilizado para o ensaio de stress wave. (c) fotografia do método utilizado para o ensaio de vibração transversal.
Fonte: O autor (2016).

A caracterização das propriedades físicas dos corpos de prova foi feita de acordo com os métodos de ensaios definidos na NBR 7190 (ABNT, 1997). Foram determinados a retração, o inchamento, o teor de umidade e as densidades básica e aparente como mostrado na Tabela 5 em resultados. A Figura 4 mostra como foi feito o procedimento.

(a) (b) (c)

Figura 4. Metodologia adotada para calcular a retração e inchamento. (a) fotografia do método utilizado para medir o comprimento do corpo de prova com o paquímetro. (b) fotografia do método utilizado para medir os planos radial e transversal com o micrometro. (c) fotografia dos corpos de prova submersos em água para aumentarem a umidade.
Fonte: O autor (2016).

A análise estatística foi conduzida sob o delineamento inteiramente casualizado, em que foram comparadas as resistências mecânicas das madeiras de eucalipto e carvalho. Os resultados obtidos foram analisados por meio de análise de variância e teste de comparação de médias, teste de Tukey a 5% de significância.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios dos módulos de elasticidade (MOE), obtidos por meio dos três métodos não destrutivos (Longitudinal, transversal, stress wave) para os calços, encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Valores médios dos módulos de elasticidade para os calços nos diferentes métodos utilizados.

Método	MOE (GPa) eucalipto	MOE (GPa) carvalho
Longitudinal	15,67	14,20
Transversal	9,78	8,48
Stress Wave	12,87	12,31
d_{ap} (g/cm³)	0,63	0,74

MOE = Módulo de elasticidade.

Na Tabela 1 é possível observar que os calços da madeira de eucalipto possui maior módulo de elasticidade do que a madeira de carvalho em todos os três ensaios realizados. Entretanto à madeira que apresentou maior valor de densidade aparente foi o carvalho.

Nas Tabelas 2 e 3 encontram-se os valores de resistência, obtidos por meio dos ensaios destrutivos de compressão paralela às fibras ($f_{c0,m}$), compressão normal às fibras ($f_{c90,m}$) e cisalhamento ($F_{v0,m}$), para os corpos de prova secos e saturados respectivamente.

Tabela 2. Resultados obtidos pelos ensaios destrutivos para os corpos de prova secos.

Método	eucalipto	Umidade (%)	carvalho	Umidade (%)
Comp. Normal $f_{c90,m}$(MPa)	10,44 b	11,14	14,25 a	10,42
Comp. Normal MOE(MPa)	396,14 b	-	615,15 a	-
Comp. Paralela $f_{c0,m}$(MPa)	63,98 a	10,85	59,62 a	29,89
Cisalhamento $f_{v0,m}$(MPa)	10,82 b	8,66	14,62 a	30,77

($f_{c0,m}$) = Compressão paralela às fibras. ($f_{c90,m}$) = Compressão normal às fibras. ($F_{v0,m}$) = cisalhamento.
*Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Na Tabela 2 é possível observar que no ensaio de compressão normal às fibras e cisalhamento, à madeira de carvalho mostrou-se mais resistente e com maior módulo de elasticidade do que a madeira de eucalipto. Já no ensaio de compressão paralela às fibras, à madeira de eucalipto apresentou maior resistência, entretanto foram estatisticamente iguais.

Tabela 3. Resultados obtidos pelos ensaios destrutivos para os corpos de prova saturados.

Método	eucalipto	Umidade (%)	carvalho	Umidade (%)
Comp. Normal $f_{c90,m}$(MPa)	8,66 a	58,84	8,56 a	76,60
Comp. Normal MOE(MPa)	96,33 b	-	299,82 a	-
Comp. Paralela $f_{c0,m}$(MPa)	33,33 a	84,98	27,03 b	81,10
Cisalhamento $f_{v0,m}$(MPa)	6,84 b	85,96	7,69 a	83,94

($f_{c0,m}$) = Compressão paralela às fibras. ($f_{c90,m}$) = Compressão normal às fibras. ($F_{v0,m}$) = cisalhamento.
*Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Com os corpos de prova saturados, à madeira de eucalipto apresentou maior resistência no ensaio de compressão normal do que à madeira de carvalho. Entretanto, foram estatisticamente iguais. Já quanto ao módulo de elasticidade, à madeira de carvalho apresentou valores três vezes maior do que à madeira de eucalipto.

No ensaio de compressão paralela às fibras à madeira de eucalipto apresentou resistência maior do que à madeira de carvalho. Já no ensaio de cisalhamento, à madeira de carvalho apresentou resistência maior do que a de eucalipto.

Na Tabela 4 encontram-se os valores dos módulos de elasticidade longitudinal (MOE_{vl}), transversal (MOE_{vt}) e stress wave (MOE_{sw}) obtidos por meio dos corpos de prova dos ensaios não destrutivos.

Tabela 4. Módulos de elasticidade obtidos por ensaio não destrutivo

Madeira	**MOE_{vl} (GPa)**	**MOE_{vt} (GPa)**	**MOE_{sw} (GPa)**
eucalipto	16,15 b	17,17 a	8,13 a
carvalho	17,94 a	14,29 b	6,92 a

(MOE_{vl}) = Módulos de elasticidade longitudinal. (MOE_{vt}) = Módulo de elasticidade transversal (MOE_{sw}) = Módulo de elasticidade stress wave.
*Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

No ensaio de vibração longitudinal à madeira de carvalho apresentou maior módulo de elasticidade do que à madeira de eucalipto. Entretanto, nos ensaios de vibração transversal e stress wave o módulo de elasticidade foi maior na madeira de eucalipto. Porém no ensaio de stress wave, os módulos de elasticidade foram estatisticamente iguais.

Na Tabela 5 encontram-se os valores médios das propriedades físicas das madeiras estudadas, densidade aparente (d_{ap}), densidade básica (d_{bas}), teor de umidade (U), retração volumétrica (RV) e inchamento volumétrico (IV).

Tabela 5. Propriedades físicas das madeiras.

Madeira	d_{ap} (g/cm³)	d_{bas} (g/cm³)	U (%)	RV (%)	IV (%)
eucalipto	0,590	0,479	12,61	14,02	16,36
carvalho	0,764	0,597	14,04	17,05	20,58

(d_{ap}) = Densidade aparente. (d_{bas}) = Densidade básica. (U) = Teor de umidade. (RV) = Retração volumétrica. (IV) Inchamento volumétrico.

A densidade básica e aparente da madeira de carvalho apresentou valores superiores ao da madeira de eucalipto. A retração volumétrica e o inchamento volumétrico, também mostrou-se superior ao da madeira de carvalho.

O conhecimento da densidade básica e aparente da madeira são fundamentais para que a madeira seja utilizada da forma mais adequada possível. Quanto maior a densidade da madeira, maior sua resistência. Neste caso, quando comparamos as duas madeiras estudadas, o carvalho mostrou-se mais adequado para a utilização de calços.

4. CONCLUSÕES

Mesmo com a densidade aparente da madeira de carvalho apresentando valores superiores do que a de eucalipto, o módulo de elasticidade, tanto para os calços quanto para os corpos de prova encontrados nos ensaios não destrutivos da madeira de eucalipto foi superior ao da madeira de carvalho.

A madeira de carvalho apresentou valores superiores em quase todos os ensaios destrutivos. No ensaio de compressão normal às fibras o módulo de elasticidade encontrado na madeira de carvalho foi três vezes maior do que à madeira de eucalipto.

Com os corpos de prova saturados, a madeira de eucalipto apresentou valores superiores apenas no ensaio de compressão paralela às fibras.

A retração e o inchamento da madeira de carvalho foram maiores do que da madeira de eucalipto.

Há uma grande necessidade de se estudar espécies de madeira ainda pouco conhecidas no mercado, com o intuito de se aproveitar melhor todos os tipos de madeira disponíveis no mercado.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem pelo apoio do Programa Institucional de Iniciação Cientifica (PIIC) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de iniciação científica, e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo (FAPES) pelo financiamento da pesquisa.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D 143 – Standard test methods for small clear specimens of timber. Philadelphia, PA, 2000.

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

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, 2008.

TELES, R. F. Propriedades tecnológicas de vigas de madeira laminada colada produzidas com louro vermelho (Sextonia rubra). 2009. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

Tropical Timber Market Report. ITTO - Eucalypts and pine dominate plantations in Brazil. September. 2009.

ZENID, G. J. Madeira na construção civil. 2013. Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeiras, Porto Alegre, 2013.

III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira

Florianópolis - 2017

REALIZAÇÃO

SBCTEM

APOIO

FIESC

ACR

FLORIPA CONVENTION & VISITORS BUREAU

ORGANIZAÇÃO

UDESC