



Tipos de ruptura na madeira de três espécies florestais exóticas

Douglas Edson Carvalho ¹; Mauro Vitor Greco Tavora ^{2*}; Ricardo Jorge Klitzke ¹; Márcio Pereira da Rocha ¹

¹ Universidade Federal do Paraná / Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal;

² Universidade Federal do Paraná / Programa de Pós Graduação em Engenharia de Construção Civil

*E-mail: mauro.tavora@gmail.com

Resumo: Diferentes espécies florestais exóticas são utilizadas no Brasil em fins produtivos diversos. Para a aplicação correta da madeira é necessário conhecer suas propriedades e comportamento. Nesse sentido, as propriedades de massa específica aparente, resistência, rigidez e tipos de ruptura foram avaliadas para três espécies exóticas, *Pinus* sp., *Gmelina arborea* e *Eucalyptus* sp.. Observou-se a diferenciação estatística da massa específica da madeira de *Eucalyptus* sp. em relação às outras espécies avaliadas, bem como os valores de resistência e rigidez, os quais também foram superiores para esta espécie em relação às demais. Quanto aos tipos de rupturas, para as três espécies foram observadas uma maior ocorrência de rupturas por tração simples e por compressão. Entretanto, as madeiras de *Pinus* sp. e *Gmelina arborea* também apresentaram um percentual de rupturas acompanhando a grã do material e frágeis do tipo abrupta.

Palavras-chave: Flexão estática, módulo de elasticidade, módulo de ruptura.

Types of rupture in three exotic forest species

Abstract: Different exotic forest species are widely used in Brazil for different purposes productive. For correct application of wood it is necessary to know its properties and behavior. In this sense, the properties of wood specific gravity, strength, stiffness and rupture types were evaluated for three exotic species, *Pinus* sp., *Gmelina arborea* and *Eucalyptus* sp.. It was observed a statistical differentiation of the wood specific gravity of *Eucalyptus* sp. of the others species, as well as the values of strength and stiffness, which were also superior for this species comparing to the others species evaluated. Regarding the types of ruptures, was observed a greater occurrence, for the three species, by simple tension and by compression. However, the wood of *Pinus* sp. and *Gmelina arborea* also presented a percentage of ruptures accompanying the grain of the material (cross grain tension) and abrupt of the brash tension type.

Keywords: Static bending, modulus of elasticity, modulus of rupture.

1. INTRODUÇÃO

Espécies florestais exóticas são utilizadas no Brasil devido ao alto potencial de incremento, porém, para o sucesso de uso da madeira de forma adequada é necessário conhecer seu comportamento físico e mecânico.

As características físicas estão relacionadas com a maior parte das propriedades da madeira, especialmente a massa específica, sendo um dos principais parâmetros utilizados para qualificação geral e caracterização comportamental nos processos tecnológicos e industriais (Batista et al., 2010), especialmente quanto às exigências mecânicas da madeira (Faggiano e Marzo, 2015).

A alta relação resistência/peso da madeira, estrutura porosa e aspectos estéticos propiciam sua utilização em segmentos variados, desde construção e movelaria até o uso em meio artístico (Ding et al., 2013). Entretanto, a heterogeneidade já conhecida da madeira, afeta significativamente suas propriedades mecânicas (Leonello et al., 2012). O comportamento mecânico pode ser explicado pela estrutura anatômica da parede celular e composição química da madeira (Ajuong et al., 2010), porém como um material natural, a madeira exibe uma variação inerente às suas propriedades, mesmo em amostras da mesma espécie (Ridley-Ellis et al., 2009).

Por meio do ensaio de flexão estática, onde uma carga é aplicada tangencialmente aos anéis de crescimento, perpendicular às fibras, obtém-se o módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR), utilizados para caracterizar a madeira (Lourençon et al., 2014), que podem variar dentro de uma mesma espécie, na faixa de 7 – 20 % (Forest Products Laboratory, 2010). Esta variação pode ser afetada pelas condições de umidade, tipo de solo onde a espécie foi plantada (Forest Products Laboratory, 2010) e pela quantidade de lenho adulto e juvenil presentes na madeira, normalmente com menores valores em madeira de lenho juvenil (Lourençon et al., 2014).

Portanto, conhecer as propriedades físicas e mecânicas, assim como seu comportamento possibilita a aplicação mais apropriada do material. Neste contexto, o objetivo do trabalho foi realizar a avaliação da massa específica aparente, resistência, rigidez e tipos de ruptura em madeiras exóticas de *Pinus sp.*, *Gmelina arborea* e *Eucalyptus sp.*

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Seleção do material

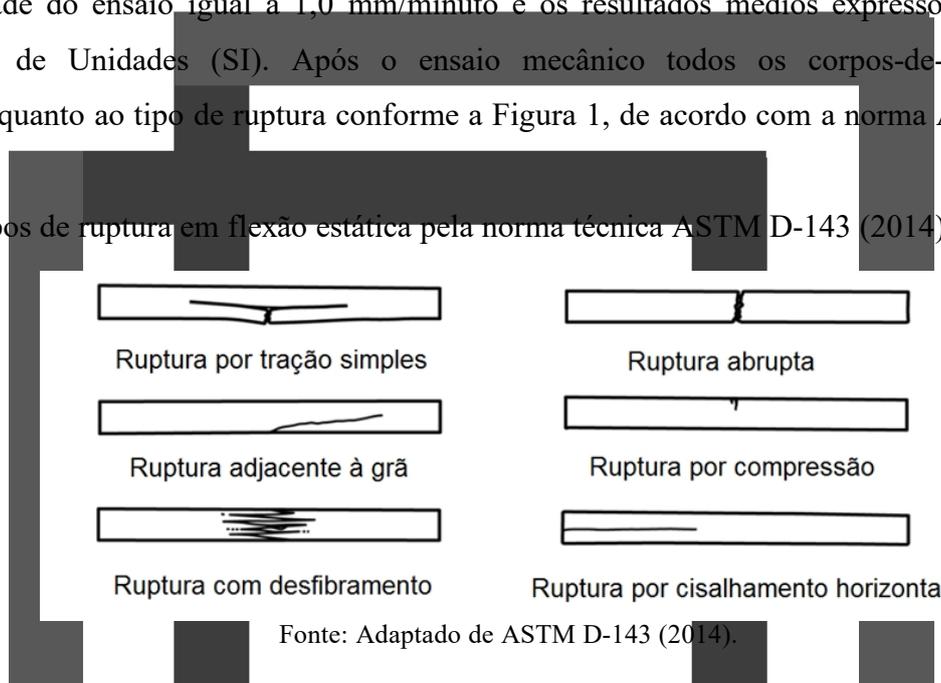
No presente trabalho foram selecionadas aleatoriamente tábuas de lotes de madeiras

provenientes de árvores das espécies *Pinus* sp., *Gmelina arborea* Roxb. e *Eucalyptus* sp.. Das tábuas foram confeccionados corpos-de-prova devidamente orientados em relação aos planos anatômicos (radial, tangencial e longitudinal) sem defeitos, nas dimensões 20 mm x 20 mm x 300 mm.

O material foi levado à câmara climatizada para equilíbrio higroscópico (20+2°C de temperatura e 65+3% de umidade relativa do ar). Na sequência, determinou-se a massa específica aparente a 12% e procedeu-se o ensaio mecânico de flexão estática determinando o módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR).

O ensaio mecânico foi realizado em Máquina Universal de Ensaios (EMIC – DL 30.000) com velocidade do ensaio igual a 1,0 mm/minuto e os resultados médios expressos no Sistema Internacional de Unidades (SI). Após o ensaio mecânico todos os corpos-de-prova foram classificados quanto ao tipo de ruptura conforme a Figura 1, de acordo com a norma ASTM D-143 (2014).

Figura 1. Tipos de ruptura em flexão estática pela norma técnica ASTM D-143 (2014).



Os dados foram analisados quanto à homogeneidade da variância (Bartlett e Hartley's) e normalidade dos dados (Kolmogorov – Smirnov). Posteriormente realizou-se análise de variância (ANOVA – $p \leq 0,05$) e, verificada diferença significativa, aplicou-se com o teste Tukey ($p \leq 0,05$) para comparação de médias.

3. RESULTADOS

Os valores obtidos referentes às propriedades de massa específica aparente a 12%, módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) para as três espécies analisadas estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Massa específica aparente (MEA), módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) das madeiras de *Pinus sp.*, *Gmelina arborea* e *Eucalyptus sp.*

Espécie	Propriedades		
	MEA (g/cm ³)	MOE (MPa)	MOR (MPa)
<i>Pinus sp.</i>	0,457 (7,58) a	6490,78 (20,43) a	58,74 (14,86) a
<i>Gmelina arborea</i>	0,456 (4,46) a	7808,09 (5,23) b	62,62 (4,96) a
<i>Eucalyptus sp.</i>	0,508 (11,31) b	12024,8 (17,62) c	81,17 (13,32) b

Entre parênteses coeficiente de variação (C.V. %). Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si.

A Tabela 2 apresenta a quantidade percentual de cada tipo de ruptura observada para cada espécie.

Tabela 2. Tipos e quantidade de rupturas ocorridas no ensaio de flexão estática para as madeiras de *Pinus sp.*, *Gmelina arborea* e *Eucalyptus sp.*

Tipo de ruptura	% de rupturas ocorridas		
	<i>Pinus sp.</i>	<i>Gmelina arborea</i>	<i>Eucalyptus sp.</i>
Tração simples	40	60	10
Adjacente a grã	30	25	-
Desfibramento (<i>Splintering</i>)	-	-	-
Abrupta (frágil)	10	10	-
Compressão	20	5	90
Cisalhamento horizontal	-	-	-

Na Figura 2 estão ilustrados os tipos de ruptura ocorridos nos corpos-de-prova testados, desde as rupturas por tração simples e compressão ocorridas nas três espécies às rupturas adjacentes à grã e abruptas, observadas somente nas madeiras de *Pinus sp.* e *Gmelina arborea*.

Figura 2. Tipos de ruptura observados nas madeiras de *Pinus sp.* (A), *Gmelina arborea*(B) e *Eucalyptus sp.* (C).



4. DISCUSSÃO

As madeiras de *Pinus sp.* e *Gmelina arborea* apresentaram valores de massa específica aparente estatisticamente iguais, se diferenciando da madeira de *Eucalyptus sp.*, a qual apresentou valores superiores desta propriedade. Esta característica resulta em valores superiores de módulo de elasticidade e ruptura para o *Eucalyptus sp.*, destoando estatisticamente das demais espécies analisadas. Tal comprovação está relacionada com a maior quantidade de massa lenhosa por unidade de volume, acarretando em maior MOE e MOR (Niklas et al., 2010; Niklas et al., 2012).

Estatisticamente o MOR apresentou o mesmo comportamento que a massa específica aparente, se destacando para a espécie *Eucalyptus sp.*, porém o MOE exibiu diferença estatística entre as três espécies. Apesar de apresentarem massa específica aparente relativamente equivalente, *Pinus sp.* e *Gmelina arborea* diferiram estatisticamente quanto ao MOE. Tal comportamento é atribuído à composição química e estrutural associada a cada espécie, como, por exemplo, o ângulo microfibrilar, o qual interfere diretamente nas propriedades mecânicas (Via et al., 2009).

Em todas as espécies analisadas foram observadas rupturas de tração simples e compressão. A ruptura por compressão é ocasionada pela deformação plástica da madeira, acarretando no amassamento fibrilar na face superior do corpo-de-prova. Este tipo de ruptura é comum em espécies de baixa densidade (Bodig e Jayne, 1982), apesar disso, foi observado com maior frequência para a espécie de maior massa específica aparente (*Eucalyptus sp.*).

As espécies *Pinus sp.* e *Gmelina arborea* também apresentaram rupturas do tipo adjacente a grã e abrupta. A ruptura que segue a grã está associada a uma irregularidade das fibras da madeira, que, por sua vez, podem apresentar uma grã dos tipos inclinada, ondulada, entrecruzada ou espiral ao invés de direita ou reta. Já a ruptura do tipo abrupta indica um comportamento frágil, que pode ser relacionado à presença de uma estrutura molecular defeituosa. A utilização de madeiras com rupturas frágeis deve ser evitada em estruturas, pois segundo Calonego et al. (2013), as deformações observadas em materiais mais dúcteis servem de alerta antes de uma ruptura total de um elemento estrutural.

Nota-se que as rupturas ocorreram de forma distinta para cada espécie, quando se teve a aplicação máxima de carga ou quando ocorreu uma deformação excessiva na madeira. A diferenciação da massa específica aparente das madeiras tem influência neste comportamento. Conforme observado para a madeira *Eucalyptus sp.*, uma maior massa específica e valores superiores de resistência e rigidez pode ter contribuído para a ausência de rupturas frágeis.

5. CONCLUSÕES

A madeira de *Eucalyptus* sp. apresentou massa específica aparente, resistência e rigidez superior, indicando qualidade superior desta espécie em relação às demais avaliadas.

As espécies *Pinus* sp. e *Gmelina arborea*, de menor densidade, além dos tipos tração simples e compressão, apresentaram rupturas seguindo a grã e frágeis do tipo abrupta, que limitam sua utilização para fins estruturais.

6. REFERÊNCIAS

Ajuong E, Pinion LC, Mohammad SHB. Degradation of Wood. Reference Module in Materials Science and Materials Engineering. Shreir's Corrosion 2010; 3:2439-2446.

Batista DC, Klitzke JR, Santos CVT. Densidade básica e retratibilidade da madeira de clones de três espécies de *Eucalyptus*. *Ciência Florestal* 2010; 20 (4): 665-674.

Bodig J, Jayne BA. *Mechanics of wood and wood composites*. Nova Iorque: Van Nostrand Reinhold, 1982.

Calonego FW, Severo ETD, Brito AF. Tipos de Ruptura em Madeira de *Eucalyptus grandis* Modificada Termicamente. *Silva Lusitana* 2013; nº Especial: 153-161.

Ding W, Koubaa A, Chaala A. Mechanical properties of MMA - hardened hybrid poplar wood. *Industrial Crops and Products* 2013; 46: 304-310.

Faggiano B, Marzo A. A method for the determination of the timber density through the statistical assessment of ND transverse measurements aimed at in situ mechanical identification of existing timber structures. *Construction and Building Materials* 2015; 101: 1235-1240.

Forest Products Laboratory. *Wood Handbook: Wood as an Engineering Material*. Gen. Tech. Rep. FOREST PRODUCTS LABORATORY-GTR-113. MADISON, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 508 p., 2010.

Leonello EC, Ballarin AW, Ohto JM, Palma HAL, Escobar JF. Classificação estrutural e qualidade da madeira do Clone GT 1 de *Hevea brasiliensis* Muell. *Arg. Floresta e Ambiente*. Seropédica 2012;19 (2): 229-235.

Lourençon TV, Mattos DF, Gatto DA, Buligon EA, Haselein CR. Determinação da idade de transição entre lenho juvenil e adulto de três espécies florestais por meio de suas propriedades mecânicas. *Floresta e Ambiente* 2014; 21 (2): 251-260.

Niklas KJ, Spatz HC. "World wide correlations of mechanical properties and green wood density", *American Journal of Botany* 2010, 97 (10): 1587–1594.

Niklas KJ, Spatz HC. "Mechanical properties of wood disproportionately increase with increasing density". *American Journal of Botany* 2012; 99 (1): 169–70.

Ridley-Ellis D, Moore J, Lyon AJ, Searles GJ, Gardiner BA. Strategic Integrated Research in Timber: Getting the Most Out of the UK's Timber Resource. Non-conventional Materials and Technologies 2009.

Via BK, So CL, Shupe TF, Groom LH, Wikaira J. Mechanical response of long leaf pine to variation in microfibril angle, chemistry associated wave lengths, density, and radial position, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing 2009; 40 (1): 60-66.

