

PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA MADEIRA DE CLONES DE EUCALIPTO

Maiara Talgatti^{1*}, Amanda Grassmann da Silveira¹, Elio José Santini², Luciane Gorski²,
Talita Baldin², Guilherme Valcorte¹

SAP 20294 Data envio: 22/08/2018 Data do aceite: 04/10/2018
Sci. Agrar. Parana., Marechal Cândido Rondon, v. 17, n. 4, out./dez., p. 434-442, 2018

RESUMO: A clonagem do eucalipto vem promovendo a homogeneização das propriedades tecnológicas da madeira, aumentando a produtividade e diminuindo o ciclo de corte. Torna-se importante a investigação das propriedades físicas e mecânicas das madeiras destes clones para indicar a aplicação final mais adequada. O objetivo deste trabalho foi determinar propriedades físicas e mecânicas importantes para o uso da madeira de 6 clone do gênero *Eucalyptus* provenientes de plantios clonais de três estados do Brasil. O material foi coletado ao acaso, de cada clone foram amostradas 6 árvores, desdobradas e confeccionados os corpos de prova, com base nas normas ASTM, NBR e FN, para determinação da densidade básica, densidade aparente, contração (radial, tangencial, longitudinal e volumétrica), anisotropia, flexão estática (MOE e MOR), resistência ao impacto, trabalho absorvido, coeficiente de resiliência e cota dinâmica. Utilizou-se a análise de variância (teste F a 5% de significância), e para a diferenciação das médias aplicou-se o teste de Tukey (5% de significância). Todos os clones foram classificados como de baixa densidade básica e com madeira de média a baixa retratibilidade. Os resultados do fator anisotrópico encontrados podem ser considerados bastante satisfatórios, apresentando estabilidade dimensional normal. Evidencia-se uma relação direta entre a densidade da madeira e os coeficientes de flexão estática, pois conforme aumento na densidade há significativo aumento em módulo de elasticidade e módulo de ruptura. Não foram consideradas a proveniência das madeiras. Entretanto, a idade pode ter sido um elemento decisivo em algumas propriedades.

Palavras-chave: *Eucalyptus*, híbridos, características físicas, resistência mecânica, qualidade da madeira.

PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF EUCALYPTUS WOOD CLONES

ABSTRACT: The cloning of eucalyptus has promoted the homogenization of the technological properties of the wood, increasing the productivity and reducing the cutting cycle. It is important to investigate the physical and mechanical properties of the wood of these clones to indicate the most appropriate final application. This paper had as objective to determine important physical and mechanical properties for the use of the wood from 6 species/hybrids of genus *Eucalyptus* from clonal plantations in three Brazilian states. The raw material was selected randomly, and six trees from each clone were collected. The wood samples and the tests were based on the ASTM, NBR and FN standards, to determine the basic density and apparent, impact strength, absorbed work, coefficient of resilience and dynamic cote. The analysis of variance (F test at 5% significance) used, and the Tukey's test (5% significance) also was used to differentiate the means from the results. All clones were classified as low basic density and with medium to low shading wood. The results of the anisotropic factor found can be considered quite satisfactory, presenting normal dimensional stability. A direct relationship between the wood density and the static bending coefficients is evidenced, because as the density increases there is a significant increase in modulus of elasticity and modulus of rupture. The origin of the wood was not considered. However, age may have been a decisive element in some properties.

Keywords: *Eucalyptus*, hybrids, physical characteristics, mechanical strength, wood quality.

INTRODUÇÃO

O crescente negócio de florestas plantadas no Brasil vem criando desafios para a silvicultura e o manejo. O país apresenta excelentes condições climáticas e amplas áreas para implantação, além de estar investindo no desenvolvimento de novas tecnologias no melhoramento genético de espécies florestais (SOUZA et al., 2017). A criação de clones que surge como alternativa e ganha destaque promovendo a homogeneização das propriedades

tecnológicas da madeira, aumentando a produtividade e diminuindo a rotação, ou seja, o tempo decorrido entre o plantio e a colheita das árvores.

Por se tratar de um gênero com diversas espécies que se adaptam a diferentes condições climáticas, além de seu uso múltiplo, o *Eucalyptus* é o gênero mais empregado em reflorestamentos no país e plantado em praticamente todas as regiões (TORRES et al., 2016). Em 2016, segundo a Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2017) as

¹Discente, Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Av. Roraima, 1000, Cidade Universitária Bairro Camobi, CEP: 97105-900, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: maiara.talgatti@hotmail.com; amandagrassmann@gmail.com; lucianegorski@gmail.com; talita.baldin@hotmail.com; valcorteguilherme@hotmail.com. *Autora para correspondência.

²Professor Adjunto, Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Av. Roraima, 1000, Cidade Universitária Bairro Camobi, CEP: 97105-900, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: ejasantini@ufsm.br.

florestas plantadas totalizaram 7,84 milhões de ha no Brasil, das quais 5,7 milhões são de eucalipto, ocupando maiores áreas em alguns estados como Minas Gerais, São Paulo e Mato Grosso do Sul. Tais números estão crescendo anualmente, através de empresas do setor ou investidores, impulsionados pelos fatores positivos.

Atualmente, o aumento na demanda por madeira induz o setor florestal a investir em pesquisa para aumentar ao máximo a produtividade dos plantios e, por conseguinte, reduzir a idade de corte destes, acelerando o ciclo para poder suprir o mercado (CARNEIRO et al., 2016). Por outro lado, deve-se considerar que a madeira apresentará características peculiares quando retirada ainda jovem. A menor proporção de lenho tardio, por exemplo, reflete nas principais propriedades físicas e mecânicas, prejudicadas pelo corte antecipado.

Seguindo essa tendência, as informações das propriedades físicas e mecânicas das madeiras dos clones são de suma importância para indicar a aplicação final mais adequada, esse conhecimento detalhado aumenta a aceitação das madeiras onde tais propriedades sejam requeridas, como na aplicação industrial, setor moveleiro,

construção civil, entre outros (BATISTA et al., 2010). Em meio às características mais importantes, pode-se citar a densidade básica que se correlaciona principalmente com a resistência mecânica, e outras propriedades também determinantes como a contração, o fator anisotrópico e a resistência aos impactos.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi determinar e comparar a densidade e os coeficientes de contração radial, tangencial e volumétricos de madeiras de seis clones de *Eucalyptus* spp., bem como seus coeficientes anisotrópicos e ainda, as propriedades mecânicas de flexão estática e flexão dinâmica.

MATERIAL E MÉTODOS

Matérias-primas

Foram coletadas 6 árvores de cada clone, escolhidas ao acaso, com idades entre 6 e 11 anos. Com auxílio de motosserra, foi retirada a primeira e a segunda tora de cada árvore, com cerca 3 m de comprimento cada. O detalhamento das características das árvores selecionadas para a pesquisa encontra-se na Tabela 1.

TABELA 1 - Características dos clones de eucalipto selecionados.

Clones	Locais de coleta	Híbridos ou espécies	DAP* médio (cm)	Idade (anos)
1005	Telêmaco Borba (PR)	<i>Eucalyptus grandis</i> x <i>E. camaldulensis</i>	17,67	8
1006	Paragominas (PA)	<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	20,93	6
1007	Capivari do Sul (RS)	<i>E. grandis</i>	30,37	11
1008	Capivari do Sul (RS)	<i>E. grandis</i>	28,22	11
1009	Telêmaco Borba (PR)	<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	22,77	8
1010	Telêmaco Borba (PR)	<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	22,15	7

*DAP = diâmetro à altura do peito.

Procedência das árvores

As árvores deste estudo provieram de plantios comerciais homogêneos com espaçamento 2 x 3 m, localizados em três estados do Brasil, mais precisamente

nas cidades de Capivari do Sul (RS), Paragominas (PA) e Telêmaco Borba (PR), conforme pode ser localizado nos mapas detalhados na Figura 1.

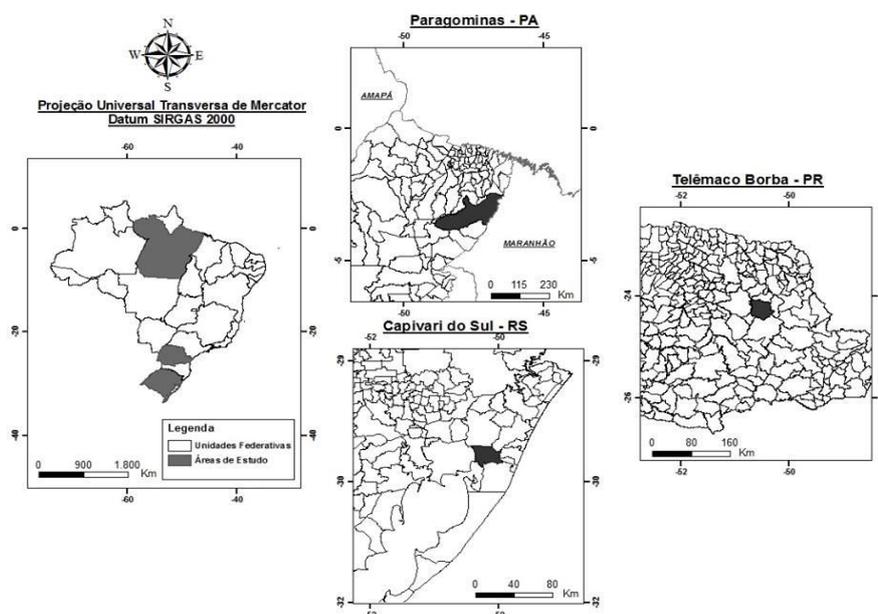


FIGURA 1 - Regiões das coletas das árvores selecionadas para a pesquisa.

Clima das regiões de coleta

A cidade de Capivari do Sul (RS), localiza-se sob as coordenadas 30°08'42" S e longitude 50°30'53" O, estando a uma altitude de 12 m em relação ao nível do mar. O Centro de Sensoriamento Remoto do Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA, 2011) classifica o clima da região como subtropical, apresentando grande amplitude térmica, ocorrência de geadas e neve em algumas áreas durante o inverno e temperaturas de até 35° no verão. A precipitação anual é de aproximadamente 1.200 mm, com pouca variação sazonal.

O outro local de coleta, Telêmaco Borba (PR), localiza-se a uma latitude 24°19'26" S e longitude 50°36'57" O, estando a 700 m de altitude. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é *Cfa/Cfb*, subtropical úmido transicional para temperado propriamente dito, em que a temperatura média do mês mais frio é inferior a 16°C, com ocorrência de geadas, e a temperatura média do mês mais quente é superior a 22°C. Anualmente, a precipitação é de 1.490 mm, em média.

O município de Paragominas, no Pará, situa-se a uma latitude 02°59'45" S e a uma longitude 47°21'10" O, e altitude de 90 m. O clima é do tipo mesotérmico e úmido. A temperatura média anual é de 25°C e o regime de chuvas varia entre 2.250 mm e 2.500 mm anuais, porém, o período de dezembro a junho concentra o maior volume (80%) pluviométrico (PARÁ, 2008).

Confeção dos corpos de prova e normas adotadas para os testes

No Laboratório de Produtos Florestais (LPF) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), *Campus Santa Maria*, as toras de todas os clones foram desdobradas com auxílio de uma serra de fita horizontal simples, com cortes tangenciais e radiais retirando-se tábuas de uma polegada e o pranchão central, incluindo a medula, com 8 cm de espessura. Após, com auxílio de serra de fita, aplainadora, serra circular e destopadeira confeccionaram-se, do pranchão central, os corpos de prova para os ensaios físicos e mecânicos.

Densidade básica e aparente

Para determinação da densidade básica foi selecionado um disco sem casca de 5,0 cm de espessura de cada tora na região do DAP, retirando-se duas cunhas opostas de cada disco, as quais foram submersas em água até atingirem a saturação para determinação do volume saturado, conforme norma ASTM D2395/93 (ASTM, 1997). O peso seco foi obtido de acordo com norma ASTM D4442/92 (ASTM, 1997). Obtido o volume saturado e peso seco das cunhas verificado, efetuou-se o cálculo da densidade básica.

A densidade aparente foi determinada com a madeira climatizada em ambiente com temperatura e umidade controladas, tendo como base a NBR 7190/97 (NBR, 1997). Foram aproveitados os corpos de prova

utilizados no ensaio mecânico de flexão dinâmica, onde todas as amostras foram pesadas em balança analítica e medidas suas dimensões nos três sentidos anatômicos para a determinação da densidade aparente a 12% de umidade.

Retratibilidade e anisotropia

Os coeficientes de contração linear (tangencial, radial e longitudinal), contração máxima volumétrica e coeficiente de anisotropia, foram determinados em 30 corpos de prova por clone, com dimensões 2,0 x 2,0 x 10,0 cm, retirados aleatoriamente das extremidades dos corpos de prova de flexão dinâmica, após a realização do ensaio mecânico. Para tanto, foram utilizadas as seguintes equações:

Contrações lineares:

$$\beta(r, t, l) = \frac{Dv - Ds}{Dv} * 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Em que: $\beta(r, t, l)$ = contração, em uma dada direção (%); Dv = dimensão verde, em uma dada direção (cm) e Ds = dimensão seca, em uma dada direção (cm).

A contração volumétrica da madeira foi determinada pela diferença entre o volume no estado saturado de umidade e no estado seco, em relação ao volume da madeira no estado saturado de umidade, conforme Equação 4.

$$\beta_{vol} = \frac{Vv - Vs}{Vv} * 100 \quad (\text{Equação 2})$$

Em que: $\beta(vol)$ = contração, em volume (%); Vv = dimensão verde (cm³) e Vs = dimensão seca (cm³).

Por fim, determinados os valores da contração tangencial (β_t) e da contração radial (β_r) calculou-se o coeficiente de anisotropia (CA), de acordo com a Equação 5.

$$CA = \frac{\beta_t}{\beta_r} \quad (\text{Equação 3})$$

Em que: CA = coeficiente de anisotropia (adimensional); β_t = contração tangencial (%) e β_r = contração radial (%).

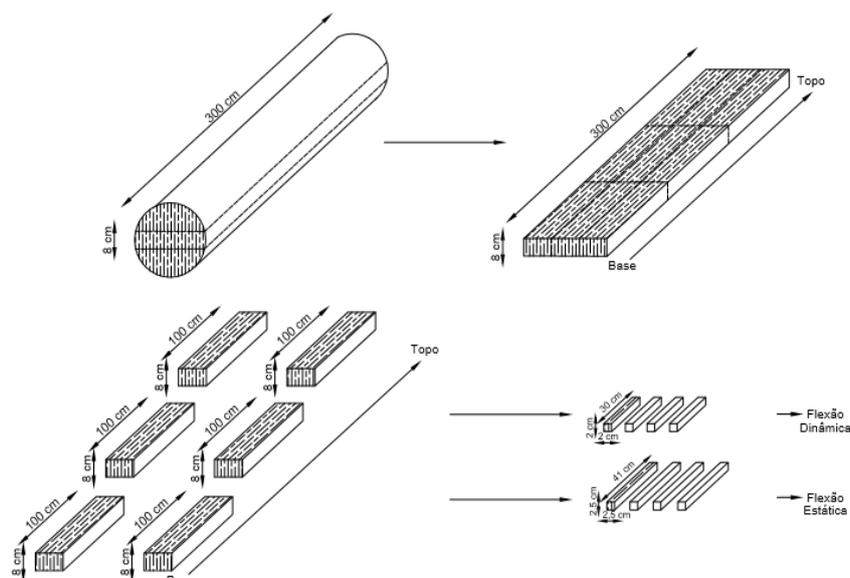
Propriedades mecânicas

Os procedimentos de confecção, dimensionamento e acondicionamento seguiram a recomendação da norma ASTM D143-94 (ASTM, 2005). Os testes mecânicos realizados, assim como as instruções das normas encontram-se na Tabela 2. O detalhamento da obtenção dos corpos de prova para cada uma das propriedades que foram testadas está demonstrado na Figura 2.

TABELA 2 - Dimensões, número de corpos de prova e velocidade do ensaio utilizados na determinação das propriedades mecânicas de clones de eucalipto.

Propriedades mecânicas	Dimensões dos corpos de prova (cm)	Número de amostras	Velocidade do ensaio (mm min ⁻¹)	Normas
Flexão estática	2,5 x 2,5 x 41,0	60	1,3	D143-94 (ASTM, 2005)
Flexão dinâmica	2,0 x 2,0 x 30,0	60	---	NF B51009 (AFN, 1942)

Fonte: ASTM (2005).

**FIGURA 2** - Sequência de desdobramento para obtenção dos corpos-de-prova.

Os corpos de prova foram acondicionados em câmara climatizada a uma temperatura de 20°C e 65% de umidade relativa, permanecendo até estabilizarem a 12% de umidade de equilíbrio. O ensaio de flexão dinâmica realizou-se no pêndulo de Charpy e os demais (MOE e MOR) foram executados na Máquina Universal de ensaios mecânicos, ambos no LPF da UFSM.

Após a queda do pêndulo, ocorre o impacto na amostra, obtendo-se o trabalho absorvido (W) em Joule, na escala graduada da máquina. Os dados obtidos no ensaio de flexão dinâmica foram convertidos de joule para kgm, utilizado a relação 1 joule = 0,101972 kgm. Em seguida, de acordo com a Association Francaise de Normalization (AFN, 1942), estimou-se o coeficiente de resiliência (K) e a cota dinâmica (CD), utilizando as equações 4 e 5 respectivamente, para fins de comparação com outros estudos. Adicionalmente avaliou-se a resistência da madeira a flexão dinâmica (f_{bw}), de acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997), por meio da equação 6.

$$K = \frac{W}{b \cdot \left(\frac{10}{h^{16}}\right)} \quad (\text{Equação 4})$$

Em que: K = coeficiente de resiliência (MPa m⁻¹); W = trabalho absorvido para romper o corpo-de-prova (J); b e h = dimensões transversais do corpo-de-prova (cm).

$$CD = \frac{K}{\rho_{\text{aparente}}^2} \quad (\text{Equação 5})$$

Em que: CD = cota dinâmica; K = coeficiente de resiliência (MPa m⁻¹); ρ_{ap} = densidade aparente (g cm⁻³).

$$f_{bw} = \frac{1000 \cdot W}{b \cdot h} \quad (\text{Equação 6})$$

Em que: f_{bw} = resistência ao impacto (KJ m⁻²); W = energia necessária para fraturar o corpo-de-prova (trabalho absorvido) (J); b e h = dimensões transversais do corpo-de-prova (mm).

Análise estatística e delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado (DIC), utilizando 10 amostras para casa ensaio. Posteriormente as médias dos tratamentos de cada produto foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro, utilizando o *software* estatístico Genes (CRUZ, 2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Propriedades físicas

Densidade básica e aparente

A densidade básica da madeira é a quantificação direta do material lenhoso por unidade de volume, estando

relacionada com as propriedades e características tecnológicas para a utilização de produtos florestais, segundo a afirmação de Shioyama (1990). A média geral da densidade básica dos clones foi de $0,45 \text{ g cm}^{-3}$ (Tabela

3), valor que se encontra no intervalo esperado de $0,40$ a $0,80 \text{ g cm}^{-3}$, considerando madeiras mais jovens do gênero *Eucalyptus* (HILLIS, 2000).

TABELA 3 - Média da densidade básica (Db) e aparente (Da) das madeiras de clones de eucalipto.

Clones	Db (g cm^{-3})	Da (g cm^{-3})
1005	0,4735 a*	0,53490 b
1006	0,4590 ab	0,64597 a
1007	0,4102 bc	0,47903 b
1008	0,3930 c	0,51694 b
1009	0,4616 ab	0,52320 b
1010	0,5102 a	0,53160 b

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

A densidade básica é uma das características que proporciona a melhor avaliação da qualidade da madeira, tanto para seu uso agrícola como para industrial, sendo, portanto, a característica mais estudada e difundida (SEREGHETTI et al., 2015). O valor médio encontrado mostra similaridade quando comparado às espécies comercialmente utilizadas no Brasil, em idades semelhantes, como *Eucalyptus grandis* (SETTE Jr et al., 2012), *E. urophylla* (TRUGILHO et al., 2015) e do híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* (MEDEIROS et al., 2016).

Neste estudo, a densidade básica do clone 1010 mostrou-se superior às demais, porém não diferindo do clone 1005. Estes valores foram maiores que aqueles verificados por Souza et al. (2017) para oito espécies de *Eucalyptus* spp. amostradas aos quatro anos em um teste clonal em Ribas do Rio Pardo (MS). Os resultados encontram-se consoantes aos encontrados por Alves et al. (2011) em estudo com *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* ($0,49 \text{ g cm}^{-3}$) aos 7 anos de idade.

O maior valor de densidade aparente foi do clone 1006 ($0,64 \text{ g cm}^{-3}$), seguidas das demais sem diferença estatística entre elas (Tabela 3). A diferença pode ser atribuída pelo método de determinação destas propriedades. No caso da densidade básica o valor correspondente é determinado utilizando a madeira dos discos a 1,30 m de altura da árvore. A densidade aparente é determinada por meio de amostras de madeira ao longo da primeira tora da árvore do pranchão central. Amostragens em posições distintas na madeira carregam consigo as características de constituição química e anatômica específicas de cada posição, refletindo nos valores distintos de densidade encontrados.

Comparativamente, Carvalho et al. (2015) determinaram a densidade aparente da madeira de *Eucalyptus grandis* e *E. cloeziana*, obtendo valores de $0,56 \text{ g cm}^{-3}$ e $0,80 \text{ g cm}^{-3}$, respectivamente, ambas provenientes de plantios com 16 anos de idade. Torres et al. (2016) determinaram um valor de $0,58 \text{ g cm}^{-3}$ para a densidade aparente de *E. camaldulensis* com 4 anos de idade.

A densidade aparente é um parâmetro que reflete simultaneamente a associação das características químicas, anatômicas, físicas e mecânicas na madeira, o que respalda a importância de sua determinação. Porém, é uma

característica complexa, que varia entre espécies, entre árvores da mesma espécie, radial e longitudinalmente em uma mesma árvore, ao longo da idade, com o espaçamento e local dos plantios.

De maneira geral há tendência de aumento da densidade da madeira com a idade, o que se deve a alterações do meristema cambial e das exigências mecânico-fisiológicas resultantes do processo de desenvolvimento das árvores, representadas, principalmente, pelo aumento da espessura da parede das fibras à medida que o lenho adulto é formado (SETTE Jr et al. 2012).

Retratibilidade da madeira

Os resultados de retratibilidade da madeira (contração nos sentidos radial, tangencial, longitudinal e volumétrica) encontram-se na Tabela 4. As médias das contrações aferidas neste estudo não diferiram entre si. De modo geral, observaram-se maiores valores para a contração tangencial em relação à contração radial. Durlo e Marchiori (1992) atribuem essa tendência às restrições oferecidas pelos raios no sentido radial.

A contração volumétrica apresentou valores entre 13,5% e 9,5%, de acordo com Instituto de Pesquisas Tecnológicas (1985), madeiras com contração volumétrica entre 12,3 e 19,4% são consideradas de média retração e inferiores a isto, de pouca retração. Sendo assim, as madeiras dos clones podem ser classificadas como de média a baixa retração.

Os valores determinados neste estudo estão condizentes com outros obtidos para madeira adulta, em trabalhos de Oliveira et al. (2010) e Muller et al. (2014). Os valores de contração foram, no geral, menores, em relação aqueles encontrados por Batista et al. (2010), que ao avaliarem a madeira de *Eucalyptus grandis* também aos 11 anos de idade, obtiveram valores de contração máxima volumétrica, radial e tangencial de 14,10%, 4,06% e 9,25%, respectivamente. E também, foram mais baixos em relação ao estudo de Medeiros et al. (2016), em que a propriedade de contração volumétrica apresentou os valores médios de 17,30% e 15,05%, para *Corymbia citriodora* e *E. urograndis*, respectivamente, provenientes de plantio com 4 anos.

TABELA 4 - Valores médios da contração radial (R), tangencial (T), longitudinal (L) e volumétrica da madeira dos clones de eucalipto.

Clones	Contração da madeira (%)			Volumétrica
	R	T	L	
1005	6,597 a*	8,367 a	1,500 a	13,509 a
1006	4,572 a	7,498 a	1,517 a	12,929 a
1007	4,499 a	6,095 a	0,517 a	12,884 a
1008	4,120 a	5,486 a	0,255 a	11,398 a
1009	3,912 a	5,137 a	0,252 a	10,576 a
1010	2,957 a	4,875 a	0,250 a	9,500 a

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

Anisotropia

Quanto ao fator anisotrópico (Tabela 5), os clones apresentaram resultados semelhantes, não havendo diferença estatística entre eles, com média geral de 1,79.

Os valores encontrados para esse estudo estiveram entre 2,27 e 0,74, o que caracteriza a madeira genericamente como normal, de acordo com o índice determinado por Durlo e Marchiori (1992).

TABELA 5 - Valores médios do fator anisotrópico das madeiras dos clones de eucalipto.

Clones	Híbridos ou espécie	Anisotropia
1005	<i>Eucalyptus grandis</i> x <i>E. camaldulensis</i>	2,27 a*
1006	<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	2,20 a
1007	<i>E. grandis</i>	2,17 a
1008	<i>E. grandis</i>	1,71 a
1009	<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	1,64 a
1010	<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	0,74 a

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

De acordo com Oliveira et al. (2010), o fator anisotrópico pode variar entre 1,3 a 1,4 para madeiras muito estáveis e, pode ser maior que 3 para espécies extremamente instáveis dimensionalmente, como ocorre para muitas espécies de *Eucalyptus*, principalmente por se tratar de árvores de rápido crescimento, o que dificulta a utilização da madeira, por exemplo, nas operações de desdobro devido à alta propensão a empenos e rachaduras conforme este valor aumenta. Pode-se dizer ainda, que a importância desse índice está no fato que quanto maior for o seu distanciamento desse valor, mais propensa será a madeira a defeitos durante as alterações dimensionais provocadas pela variação da umidade (OLIVEIRA et al., 2010).

Comparativamente, pode-se citar que para o fator anisotrópico, Torres et al. (2017) encontraram um valor de

1,55, para a espécie *Eucalyptus camaldulensis*, menor que o encontrado neste estudo, exceto para o clone 1010 (0,74). Muller et al. (2014) determinaram para *E. benthamii* o valor médio de 2,36, valor maior que os clones do presente estudo.

Propriedades mecânicas

Flexão estática

As propriedades mecânicas da madeira são influenciadas por diversos fatores, dentre estes, a posição na árvore, a umidade, o tempo de duração da carga e a estrutura anatômica da madeira (HASELEIN et al., 2002). A Tabela 6 mostra os valores do módulo de elasticidade e módulo de ruptura para o ensaio de flexão estática para as madeiras dos clones de eucalipto.

TABELA 6 - Valores médios do módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) para o ensaio de flexão estática para as madeiras dos clones de eucalipto.

Clones	MOE (MPa)	MOR (MPa)
1005	8686,43 ab*	80,36 ab
1006	5645,39 b	53,07 c
1007	5583,22 b	67,91 bc
1008	9245,31 a	74,03 b
1009	11933,02 a	95,11 a
1010	10955,89 a	80,92 ab

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

É comprovado que há forte relação entre a densidade e as propriedades mecânicas, informação já reportada por Forest Products Laboratory (2010). Para este estudo, maiores massas específicas implicaram, de maneira geral, em maiores MOE e MOR, portanto, limitando o uso de madeiras leves em relação às madeiras classificadas como pesadas, no que diz respeito às aplicações que exigem resistência desse material.

É possível visualizar que, os clones 1008, 1009 e 1010 apresentam os maiores valores de MOE, não se diferenciando entre si. Tais valores corroboram com aqueles encontrados na literatura para madeiras de eucalipto por alguns autores, como Beltrame et al. (2015) em estudo com 29 clones e Eleotério et al. (2015), que avaliaram 6 espécies do gênero *Eucalyptus*. Comparativamente, pode-se citar Torres et al. (2016) que encontraram valores de MOE iguais a 12397 MPa e MOR

de 25,31 MPa, sendo estes resultados inferiores aos obtidos no presente estudo.

Trabalho absorvido, coeficiente de resiliência, resistência ao impacto e cota dinâmica

A Tabela 7 apresenta os resultados médios do trabalho absorvido (W), coeficiente de resiliência (K), resistência ao impacto (fbw) e cota dinâmica (CD) das madeiras de *Eucalyptus* spp., nas condições de equilíbrio a 12% de umidade e ao PSF. As madeiras utilizadas neste estudo são classificadas como resistentes ao impacto (CARVALHO, 1996), apresentando coeficientes de resiliência dentro do intervalo de 0,40 a 0,65 kgf cm⁻². Quanto a resistência ao impacto, Missio et al. (2016) reportam para *Eucalyptus grandis* e *E. cloeziana* com 21 anos de idade, valores de 27,51 e 48,80 kJ m⁻², próximos a este estudo.

TABELA 7 - Valores médios resistência ao impacto (f_{bw}), trabalho absorvido (W), coeficiente de resiliência (K) e cota dinâmica (CD) para as madeiras dos clones de eucalipto.

Clones	Fbw (kJ m ⁻²)	W (kgm)	K (kgf cm ⁻²)	CD
1005	43,83 ab*	1,86 ab	0,58 ab	2,01 a
1006	30,35 b	1,20 b	0,39 b	0,97 b
1007	36,26 ab	1,62 ab	0,48 ab	2,08 a
1008	50,44 a	1,77 ab	0,64 a	2,40 a
1009	48,85 a	1,99 a	0,64 a	2,35 a
1010	38,04 ab	1,52 ab	0,50 ab	1,89 a

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

Para fins de comparação com outras espécies, podemos verificar em Beltrame et al. (2010) valores superiores de resistência ao impacto da madeira de *Luehea divaricata*, com Fbw igual a 67,07 kJ m⁻², enquanto o máximo deste estudo foi obtido pelo clone 1008 (50,44 kJ m⁻²), conforme consta na Tabela 7.

No estudo publicado por Beltrame et al. (2013), valores semelhantes foram obtidos com madeira de *Platanus x acerifolia*, que apresentou média de Fbw igual a 48,32 kJ m⁻², considerada análoga àquelas verificadas para este trabalho, de 30,356 a 50,440 kJ m⁻². Ambas as espécies citadas possuíam densidade aparente em torno de 0,60 g cm⁻³.

Os valores de trabalho absorvido (W) observados para este estudo estão no intervalo de 1,209 a 1,995 kgm, conforme Tabela 7. Almeida et al. (2014) ao estudarem a resistência ao choque de seis espécies florestais, observaram que as madeiras de *Corymbia citriodora* e *Pinus oocarpa*, apresentaram valores de 4,58 e 2,38 kgm, respectivamente.

Para *Araucaria angustifolia*, com aproximadamente 50 anos de idade, Melo et al. (2010) encontraram os resultados para resistência ao impacto na madeira do lenho adulto de 1,41 kgm (W), 0,20 kgf cm⁻² (K) e 0,67 (CD). Para fins práticos, de acordo com Moreschi (2005), quanto maior o valor do coeficiente de resiliência, maior a resistência da madeira a flexão dinâmica.

Beltrame et al. (2010) afirmam que para uma madeira ser considerada resiliente, ou seja, de alta resistência ao impacto, o valor de cota dinâmica (CD), considerada como sendo a capacidade do material em suportar impacto, deve ser superior a 1,2. Pode-se afirmar que todas as madeiras do presente estudo, excetuando-se o clone 1006, se definem como resilientes, resultado este que pode estar relacionado a menor idade do tal híbrido.

CONCLUSÕES

Todos os clones foram classificados como de baixa densidade básica e com madeira de média a baixa retratibilidade.

Os resultados do fator anisotrópico encontrados podem ser considerados bastante satisfatórios, apresentando estabilidade dimensional normal.

Evidencia-se uma relação direta entre a densidade da madeira e os coeficientes de flexão estática, pois conforme aumento na densidade há significativo aumento em módulo de elasticidade e módulo de ruptura.

Não foram consideradas a proveniência das madeiras. Entretanto, a idade pode ter sido um elemento decisivo em algumas propriedades.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a doação da madeira utilizada neste estudo pela empresa Viveiro DACKO e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, D.H.; SCALIANTE, R.M.; CHRISTOFORO, A.L.; VARANDA, L.D.; LAHR, F.A.R.; DIAS, A.A.; CALIL JUNIOR, C. Tenacidade da madeira como função da densidade aparente. **Revista Árvore**, v.38, n.1, p.203-207, 2014.
- ALVES, I.C.N.; GOMIDE, J.L.; COLODETTE, J.L.; SILVA, H.D. Caracterização tecnológica da madeira de *Eucalyptus benthamii* para produção de celulose Kraft. **Ciência Florestal**, v.21, n.1, p.167-174, 2011.
- ASTM. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 2395-93**: standard test methods for specific gravity of wood and wood-based materials. Philadelphia, 1997.
- ASTM. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 4442-92**: standard test methods for direct moisture content measurement of wood and wood-base materials. Philadelphia, 1997.
- ASTM. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 143-94**: standard methods of testing small clear specimens of timber. Philadelphia, p.31, 2005.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: projetos de estruturas de madeira - Rio de Janeiro, 107p., 1997.
- AFN. ASSOCIATION FRANCAISE DE NORMALIZATION. **Norme Francaise, bois essai de choc ou flexion dynamique**. NF B51-009. Paris, p.3, 1942.
- BATISTA, D.C.; KLITZKE, J.R.; SANTOS, C.V.T. Densidade básica e retratibilidade da madeira de clones de três espécies de *Eucalyptus*. **Ciência Florestal**, v.20, n.4, p.665-674, 2010.
- BELTRAME, R.; GATTO, D.A.; MODES, K.S.; STANGERLIN, D.M.; TREVISAN, R.; HASELEIN, C.R. Resistência ao impacto da madeira de açoita-cavalo em diferentes condições de umidade. **Cerne**, v.16, n.4, p.499-504, 2010.
- BELTRAME, R.; MATTOS, B.D.; GATTO, D.A.; LAZAROTTO, M.; HASELEIN, C.R. Resistência ao choque da madeira de *Platanus x acerifolia* em diferentes condições de umidade. **Revista Árvore**, v.37, n.4, p.771-778, 2013.
- BELTRAME, R.; PERES, M.L.; DELUCIUS, R.A.; FREITAS, D.L.; GATTO, D.A.; HASELEIN, C.R. Tensões de crescimento longitudinais e propriedades mecânicas da madeira de clones de *Eucalyptus* spp. **Revista Matéria**, v.20, n.4, p.1061-1074, 2015.
- CARNEIRO, A.C.O.; VITAL, B.R.; FREDERICO, P.G.U.; FIALHO, L.F.; FIGUEIRÓ, C.G.; SILVA, C.M.S. Efeito do material genético e do sítio na qualidade do carvão vegetal de madeira de curta rotação. **Floresta**, v.46, n.4, p.473-480, 2016.
- CARVALHO, A. **Madeiras portuguesas** - estrutura anatômica, propriedades, utilizações. v.1. Instituto Florestal, p.340, 1996.
- CRUZ, C.D. **Programa Genes - Aplicativo Computacional em Genética e Estatística**. Disponível em: <<http://arquivo.ufv.br/dbg/genes/gdown1.htm>>. Acesso em: 10 nov. 2018.
- DIAS, A.C.C.; MARCHESAN, R.; ALMEIDA, V.C.; MONTEIRO, T.C.; MORAES, C.B. Relação entre a densidade básica e as retrações em madeira de teca. **Ciência da Madeira**, v.9, n.1, p.37-44, 2018.
- DURLO, M.A.; MARCHIORI, J.N.C. **Tecnologia da madeira**: retratibilidade. Santa Maria: CEPEF/FATEC, 1992, 33p.
- ELEOTÉRIO, J.R.; REICHERT, D.; HORNBURG, K.F.; MENEGUELLI, I. Massa específica e retratibilidade da madeira de seis espécies de Eucalypto cultivadas no litoral de Santa Catarina. **Revista Floresta**, v.45, n.2, p.329-336, 2015.
- FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood Handbook**: wood as an engineering material. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. p.508. 2010.
- HASELEIN, C.R.; BERGER, R.; GOULART, M.; STHAL, J.; TREVISAN, R.; SANTINI, E.J.; LOPES, M.C. Propriedades de flexão estática da madeira úmida e a 12% de umidade de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob o efeito do espaçamento e da adubação. **Ciência Florestal**, v.12, n.2, p.147-152, 2002.
- HILLIS, W.E. Wood quality and growing to meet market requirements. In: The future of *Eucalypts* for wood products, aunceston, Tasmania. **Proceedings...Launceston: IUFRO**, p.256-264, 2000.
- IBÁ. INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório IBÁ 2017**. Brasília, 80p., 2017.
- IBAMA. INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por satélite acordo de cooperação o técnica MMA/IBAMA monitoramento do bioma pampa 2008-2009**. Brasília, novembro de 2011.
- MEDEIROS, B.L.M.A; GUIMARÃES Jr, J.B.; RIBEIRO, M.X.; LISBOA, F.J.N.; GUIMARÃES, I.; PROTÁSIO, T.P. Avaliação das propriedades físicas e químicas da madeira de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* cultivadas no Piauí. **Nativa**, v.4, n.6, p.403-407, 2016.
- MELO, R.R.; STANGERLIN, D.M.; MENEZZI, C.H.S.; GATTO, D.A.; CALEGARI, L. Caracterização física e mecânica da madeira de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.5, p.67-73, 2010.
- MISSIO, A.L.; CADEMARTORI, P.H.G.; MATTOS, B.D.; SANTINI, E.J.; HASELEIN, C.R.; GATTO, D.A. Physical and mechanical properties of fast growing wood subjected to freeze heat treatments. **Bioresources**, v.11, p.10378-10390, 2016.
- MORESCHI, J.C. **Propriedades tecnológicas da madeira**. Manual Didático, 2005. 208p.

- MULLER, B.V.; ROCHA, M.P.; CUNHA, A.B.; KLITZKE, R.J.; NICOLETTI, M.F. Avaliação das Principais Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. **Floresta e Ambiente**, v.21, n.4, p.535-542, 2014.
- OLIVEIRA, J.T.S.; TOMAZELLO FILHO, M.; FIEDLER, N.C. Avaliação da retratibilidade da madeira de sete espécies de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, v.34, n.5, p.929-936, 2010.
- PARÁ. Secretaria de Estado de Planejamento, Orçamento e Finanças. **Estatísticas Municipais**. Mesorregião Sudeste Paraense. Paragominas, p.58, 2008.
- SETTE, Jr., C.R.; IVANKA, R.O.; TOMAZELLO FILHO, M.; YAMAJI, F.M.; LACLAU, J.P. Efeito da idade e posição de amostragem na densidade e características anatômicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v.36, n.6, p.1183-1190, 2012.
- SEREGHETTI, G.C.; LANÇAS, K.P.; SARTORI, M.S.; REZENDE, M.A.; SOLER, R.R. Efeito do espaçamento no crescimento e na densidade básica da madeira de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em florestas de ciclo curto. **Revista Energia na Agricultura**, v.30, n.3, p.257-262, 2015.
- SHIMOYAMA, V.R. **Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* sp.** 1990. 93p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1990.
- SOUZA, F.M.L.; PUPO, C.H.; SEREGHETTI, G.C.; SANSÍGOLO, C.A.; FERREIRA, J.P.; SILVA, R.B.; GARCIA, D.P. Características de crescimento, densidade básica e composição química da madeira de *Eucalyptus spp* na região de Ribas do Rio Pardo - MS. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v.11, n.4, p.350-359, 2017.
- TORRES, P.M.A.; PAES, J.B.; NASCIMENTO, J.W.B.; BRITO, F.M.S. Caracterização físico-mecânica da madeira jovem de *Eucalyptus camaldulensis* para aplicação na arquitetura rural. **Floresta e Ambiente**, v.23, n.1, p.109-117, 2016.
- TRUGILHO, P.F.; GOULART, S.L.; ASSIS, C.O. COUTO, F.B.S.; ALVES, I.C.N.; PROTÁSIO, T.P.; NAPOLI, A. Características de crescimento, composição química, física e estimativa de massa seca de madeira em clones e espécies de *Eucalyptus* jovens. **Ciência Rural**, v.45, n.4, p.662-666, 2015.