

ARTIGO ORIGINAL

Cor, grã e propriedades físico-mecânicas da madeira de *Corymbia* e *Eucalyptus* não tradicionais

Color, grain and physical-mechanical wood properties of non-traditional *Eucalyptus* and *Corymbia*

Stéffany de Lima Araujo¹ , Alexa Barghini Melo¹ , Lorrainy de Jesus Oliveira¹ ,
João Gabriel Missia da Silva¹ , Maria Naruna Félix de Almeida² ,
Paulo Henrique Muller da Silva³ , Graziela Baptista Vidaurre¹ , Thalyta Fernandes Godinho⁴ 

¹Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, Jerônimo Monteiro, ES, Brasil

²Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Pará – UFPA, Altamira, PA, Brasil

³Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais – IPEF, Piracicaba, SP, Brasil

⁴Vallourec, Paraopeba, MG, Brasil

Como citar: Araujo, S. L., Melo, A. B., Oliveira, L. J., Silva, J. G. M., Almeida, M. N. F., Silva, P. H. M., Vidaurre, G. B., & Godinho, T. F. (2023). Cor, grã e propriedades físico-mecânicas da madeira de *Corymbia* e *Eucalyptus* não tradicionais. *Scientia Forestalis*, 51, e4029. <https://doi.org/10.18671/scifor.v51.28>

Resumo

O objetivo foi avaliar a cor, grã e propriedades físicas e mecânicas de madeiras de espécies não-tradicionais de *Corymbia* (*C. citriodora*, *C. henryi*, *C. torelliana* e *C. variegata*) e *Eucalyptus* (*E. amplifolia*, *E. longirostrata* e *E. major*), a fim de disponibilizar e ampliar informações dessas espécies para diferentes aplicações. O material foi proveniente de experimento implantado no município de Paraopeba, MG, Brasil, e foram selecionadas três árvores de cada espécie, com idade de 6 anos. Foram retirados toretes de um metro de comprimento na região basal das árvores e desdobrados em pranchas diamétricas, utilizadas para a produção das amostras da avaliação das propriedades da madeira. Existe clara distinção nas cores do cerne e alborno das madeiras analisadas, com maior variação nas espécies de *Eucalyptus*. O máximo desvio angular não alterou significativamente entre as espécies analisadas. As espécies de *Corymbia* apresentaram alta densidade aparente e maiores módulo de elasticidade e resistências à compressão paralela, enquanto as de *Eucalyptus* maiores contrações e alta dureza Janka paralela. Não foram encontradas diferenças significativas na resistência ao cisalhamento. As correlações encontradas entre a densidade aparente e as propriedades mecânicas foram significativas, porém fracas. As propriedades das espécies estudadas assemelharam-se a clones comerciais de eucalipto.

Palavras-chave: Espécies potenciais; Propriedades da madeira; Qualidade da madeira.

Abstract

The objective was to evaluate the color, grain and physical and mechanical properties of wood from non-traditional species of *Corymbia* (*C. citriodora*, *C. henryi*, *C. torelliana* and *C. variegata*) and *Eucalyptus* (*E. amplifolia*, *E. longirostrata* and *E. major*), in order to make available and expand information on these species for different applications. The material came from an experiment implemented in the municipality of Paraopeba, MG, Brazil, and three trees of each species, aged 6 years, were selected. One meter long short logs were taken from the basal region of the trees and unfolded into diametric planks, used for the production of samples for evaluating the properties of the wood. There is a clear distinction in the colors of the heartwood and sapwood of the analyzed woods, with greater variation in the *Eucalyptus* species. The maximum angular deviation did not change significantly between the analyzed species. The *Corymbia* species showed high apparent density and higher elastic modulus and resistance to parallel compression, while the *Eucalyptus* showed greater contractions and high parallel Janka hardness. No significant differences were found in shear strength. The correlations found between bulk density and mechanical properties were significant, but weak. The properties of the studied species were similar to commercial *Eucalyptus* clones.

Keywords: Potential species; Wood properties; Wood quality.

Fonte de financiamento: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais e Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo.

Conflito de interesse: Nada a declarar.

Autor correspondente: steffanylima02@yahoo.com.br

Recebido: 20 junho 2023.

Aceito: 12 setembro 2023.

Editor: Mauro Valdir Schumacher.



Licença CC-BY Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o artigo científico seja corretamente citado.

INTRODUÇÃO

Dos 9,93 milhões de hectares de florestas plantadas no Brasil, em 2021, 75,8% é composto pelo cultivo das espécies do gênero *Eucalyptus* (Indústria Brasileira de Árvores, 2022). Essa elevada porcentagem é reflexo dos diversos usos que a madeira dessas espécies pode desempenhar, aliado ao rápido crescimento das suas árvores, o que é fundamental para aumentar a oferta de madeira e de outros produtos florestais.

O gênero *Corymbia*, assim como o *Eucalyptus*, é natural da Austrália, integra a família Myrtaceae e apresenta características intrínsecas que permitem o uso da sua madeira em diversas finalidades (Boland et al., 1984; Loureiro et al., 2021; Massuque et al., 2022). No Brasil, o gênero *Corymbia* já foi estudado nos aspectos do melhoramento genético, silvicultura e manejo; contudo, ainda são escassas as informações de qualidade da madeira (Zanuncio et al., 2015; Veiga et al., 2018).

Um uso potencial para a madeira do gênero *Corymbia* é a produção de carvão vegetal, devido, sobretudo, a sua densidade mais elevada quando comparada à madeira de eucalipto (Melo, 2022; Rocha, 2022). No entanto, para abranger novas aplicações, a densidade, estabilidade dimensional, resistência mecânica, cor e comportamento da grã da madeira são características essenciais para qualificar o material, principalmente das espécies não tradicionais, e compor um banco de informações sobre usos potenciais.

A cor representa a primeira percepção dos consumidores sobre a madeira maciça, influenciando a sua atratividade e a qualificando para alguns usos (Araújo et al., 2022). Enquanto a grã poderá afetar desde a estabilidade dimensional e resistência mecânica, quanto a usinagem, formando padrões de figuras atrativas nas peças serradas (Vidaurre et al., 2017; Silva et al., 2019; Coelho et al., 2020).

Existem diversas espécies de eucalipto, porém poucas delas ou de seus híbridos, são utilizados em plantações comerciais (Assis et al., 2005). A escolha por espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia* não-tradicionais tem o intuito de adicionar características mais tolerantes e diversificar as espécies que são utilizadas atualmente, diminuindo a probabilidade de ataques de pragas, efeitos das condições climáticas, mortalidade e redução de produtividade de madeira (Silva et al., 2017). Nesse cenário, busca-se selecionar, implantar e caracterizar espécies pouco conhecidas, mas com grande possibilidade de uso comercial no Brasil.

O objetivo foi avaliar a cor, grã e propriedades físicas e mecânicas da madeira de espécies não tradicionais de *Corymbia* e *Eucalyptus*, a fim de disponibilizar e ampliar informações dessas espécies para diferentes aplicações, como construção civil, mobiliário, moirões, produtos de alto valor agregado, entre outros usos em que a madeira é utilizada na forma sólida.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo e amostragem

As espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia* avaliadas pertencem a rede experimental do Programa Cooperativo de Melhoramento Florestal (PCMF) do Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF) do Brasil. As parcelas experimentais apresentavam-se em formatos retangulares com 49 árvores, bordadura simples e parcela útil de 25 árvores. Os tratamentos culturais adotados foram: preparo de solo (subsolagem > 0,45 m); aplicação de iscas para o controle de formigas; capina química, com uso de herbicida pré e pós plantio; fertilização de base e cobertura, de acordo com a necessidade; aplicação de gel ou irrigação, com uso de 2 a 4 litros de água após plantio por árvore (Silva et al., 2017, 2022).

A avaliação da adaptabilidade e crescimento dos experimentos foi realizada em diferentes idades em pesquisas diversas (Silva et al., 2017, 2022). Após essa avaliação foram selecionadas, quatro espécies do gênero *Corymbia* e três espécies do gênero *Eucalyptus* e o local com boa sobrevivência das espécies e produtividade média da rede experimental (Silva et al., 2022).

O material desta pesquisa foi proveniente do município de Paraopeba – MG, Brasil (latitude de 19°18'S, longitude de 44°30'O e altitude de 750 m), com condições consideradas de clima seco (Cwa, segundo a classificação de Köppen) e valores médios de 21,9°C e 1081 mm

para temperatura e precipitação. As árvores foram plantadas em fevereiro de 2015 em espaçamento de 3,0 x 3,0 m e colhidas em março de 2021, aos seis anos. Foram selecionadas três árvores por espécie, sendo mensurados o diâmetro a altura do peito, a altura total e incremento médio anual (Tabela 1).

Tabela 1. Crescimento e produção das árvores das espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia* não tradicionais aos 6 anos de idade.

Espécies	DAP (cm)	Altura total (m)	IMA (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)*
<i>C. torelliana</i> (CT)	11,18	15,25	13,37
<i>C. citriodora</i> subsp. <i>variegata</i> (CCV)	13,36	18,77	22,15
<i>C. henryi</i> (CH)	13,06	18,49	20,18
<i>C. citriodora</i> subsp. <i>citriodora</i> (CCC)	10,42	15,72	11,97
<i>E. longirostrata</i> (EL)	13,79	21,92	26,94
<i>E. major</i> (MJ)	10,10	14,17	20,58
<i>E. amplifolia</i> (AMP)	9,04	13,64	9,02

* IMA: incremento médio anual.

Na base de cada uma das árvores foi retirado um torete de um metro de comprimento, que foi desdobrado em prancha diametral (7 cm de espessura) para produção das amostras para avaliação das propriedades da madeira (Figura 1). Algumas análises não foram realizadas com amostras de *E. amplifolia*, devido a defeitos internos da madeira e limitações nas dimensões das pranchas, o que impossibilitou a retirada de amostras com repetições suficientes e nas dimensões normatizadas.

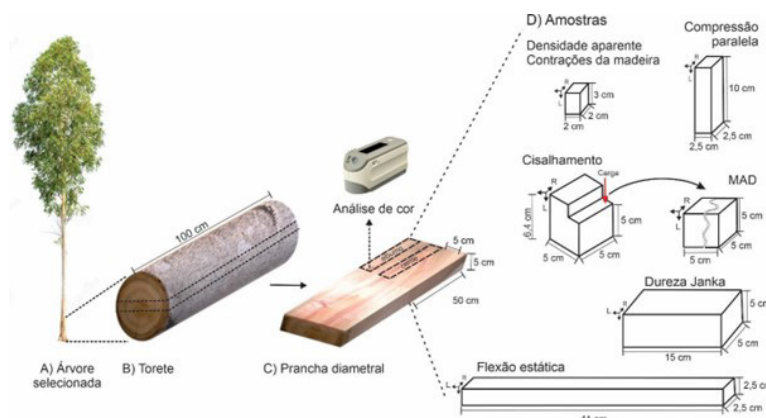


Figura 1. Esquema de amostragem da madeira.

Cor da madeira

A avaliação da cor da madeira foi realizada em três amostras de 5,0 x 5,0 x 50,0 cm da região do cerne e alborno da prancha diametral de cada espécie. As faces das amostras foram previamente lixadas com lixa de granulometria 60. Realizou-se as leituras a cada 25 cm² de cada peça, em amostragem sistemática em zigue-zague, totalizando 420 mensurações.

A análise da cor foi realizada por meio de espectrofotômetro portátil (CM 2600-D, KONICA MINOLTA). Utilizou-se o diâmetro de abertura da área de iluminação do aparelho de 3 mm (*Small Area View*), iluminante D65 e ângulo de observação de 10°. O equipamento foi calibrado com o padrão zero e branco de acordo com as instruções do fabricante, sendo o último realizado em placa de calibração específica.

A análise seguiu o sistema CIEL*a*b (1976), configurado pelos parâmetros colorimétricos luminosidade (L*) no eixo preto e branco, variando de 0 a 100, matiz do eixo verde-vermelho (a*) e azul-amarelo (b*), ambos variando de 60 a +60 (Garcia et al., 2014).

A saturação da cor (C), com variação de 0 a 60, o ângulo de tinta (h*) compreendido entre 0 e 360°, e a variação total da cor do cerne e do alborno, foram calculados conforme a D2244-21 (American Society for Testing and Materials, 2022). A classificação das cores das madeiras foi embasada pela tabela desenvolvida por Camargos & Gonzalez (2001).

Máximo desvio angular (MAD)

Os desvios da grã da madeira foram estudados pelo máximo desvio angular –MAD. As amostras de cisalhamento da madeira, após realização do ensaio, foram usinadas novamente em amostras de 5,0 x 5,0 x 5,0 cm. Logo, o fendilhamento total das amostras foi automatizado por meio da máquina universal de ensaios (Hernández & Almeida, 2003). Depois de fendilhadas, as amostras foram digitalizadas em *scanner* de alta resolução (600 dpi's) gerando imagens que representam os desvios angulares formados na superfície da madeira. De posse das imagens, realizou-se a mensuração dos desvios seguindo a metodologia descrita por Vidaurre et al. (2017) e Coelho et al. (2020).

A classificação da intensidade de intercruzamento da grã seguiu o sistema proposto por Limaye (1954), que considerou em cada classe (grã direita, com tendência ao intercruzamento, moderadamente intercruzada, intercruzada, entre outras) uma amplitude limite dos desvios médios da grã no sentido transversal das amostras.

Densidade aparente e contrações da madeira

A densidade aparente e as contrações da madeira (longitudinal, radial, tangencial e volumétrica) foram determinadas de acordo com a NBR 7190 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1997), com adaptação das dimensões das amostras para 2,0 x 2,0 x 3,0 cm, em busca do melhor aproveitamento do material, e seis repetições por espécie. O fator anisotrópico da madeira foi calculado pela relação entre as contrações tangencial e radial.

Propriedades mecânicas da madeira

Para a caracterização da resistência mecânica, foram produzidas seis amostras por espécie, totalizando 36 para flexão estática (25 x 25 x 410 mm) e resistência ao cisalhamento (50 x 50 x 64 mm) e 42 amostras para resistência à compressão paralela (25 x 25 x 100 mm) e dureza Janka (50 x 50 x 150 mm). As amostras foram acondicionadas em câmara de climatização com temperatura de 20°C ± 2°C e umidade relativa de 65% ± 3%, até atingirem umidade de equilíbrio de aproximadamente 12%.

Todos os ensaios mecânicos seguiram as prescrições da norma D143 (American Society for Testing and Materials, 2014) e foram realizadas em máquina universal de ensaios EMIC, com capacidade de carga de 10 toneladas-força. A umidade das amostras foi calculada após os ensaios mecânicos, conforme a NBR 7190 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1997), para correção dos resultados das propriedades mecânicas para 12% de umidade.

Análise dos dados

O experimento foi estruturado conforme o delineamento inteiramente casualizado (DIC). Os dados obtidos foram submetidos ao teste F da análise de variância (ANOVA). Quando observadas diferenças significativas no teste F, foi adotado o teste de Scott-Knott com nível de significância de 5%. Foi realizada uma correlação de Pearson para avaliar a relação entre a densidade aparente e as propriedades mecânicas das espécies em conjunto. Para análise dos dados utilizou-se os *softwares* SigmaPlot 13.0® e Sisvar (Versão 5.6).

RESULTADOS

Cor da madeira

As variáveis colorimétricas alteraram significativamente entre as madeiras estudadas (Tabela 2). A luminosidade foi maior para as espécies do gênero *Corymbia*, com o CT apresentando o maior valor, se consolidando como a madeira mais clara, e o AMP o menor valor, ou seja, a madeira mais escura entre as espécies estudadas.

Tabela 2. Parâmetros colorimétricos das espécies de *Corymbia* e *Eucalyptus* não tradicionais aos 6 anos de idade.

Espécies	Porção	L*	a*	b*	C*	h	ΔE
<i>C. torelliana</i> (CT)	Cerne	72,72 b (3,20)	7,94 a (1,10)	19,06 a (1,07)	20,67 a (1,14)	67,40 a (2,84)	5,18
	Alburno	75,32 a (3,81)	5,61 b (0,87)	15,24 b (1,49)	16,25 b (1,61)	69,82 b (2,17)	
	Média	74,02 A (3,13)	6,77 C (0,66)	17,15 D (0,91)	18,46 E (0,94)	68,61 B (1,84)	-
<i>C. citriodora</i> subsp. <i>variegata</i> (CCV)	Cerne	72,45 a (5,44)	6,08 a (1,28)	21,51 a (2,17)	22,38 a (2,25)	74,21 a (2,92)	4,94
	Alburno	72,19 a (4,96)	5,33 b (1,08)	16,64 b (1,76)	17,49 b (1,89)	72,31 b (2,87)	
	Média	72,32 B (2,83)	5,71 D (0,79)	19,08 B (1,70)	19,94 C (1,79)	73,26 A (1,51)	-
<i>C. henryi</i> (CH)	Cerne	68,97 b (5,08)	6,37 a (1,56)	19,36 a (1,29)	20,43 a (1,33)	71,83 b (4,28)	6,72
	Alburno	75,05 a (3,51)	4,66 b (0,96)	17,04 b (1,34)	17,68 b (1,50)	74,81 a (2,22)	
	Média	72,01 B (3,00)	5,51 D (1,01)	18,20 C (1,12)	19,06 D (1,19)	73,32 A (2,68)	-
<i>C. citriodora</i> subsp. <i>citriodora</i> (CCC)	Cerne	68,56 b (4,06)	5,45 a (1,05)	18,11 a (1,62)	18,94 a (1,59)	73,20 a (3,30)	5,82
	Alburno	74,07 a (3,92)	4,55 b (0,82)	16,48 b (1,48)	17,10 b (1,58)	74,60 a (2,06)	
	Média	71,32 B (2,68)	5,00 E (0,81)	17,29 D (1,06)	18,02 E (1,12)	73,90 A (2,28)	-
<i>E. longirostrata</i> (EL)	Cerne	70,18 a (3,53)	11,80 a (2,04)	21,43 a (1,14)	24,52 a (1,63)	61,30 b (3,85)	7,79
	Alburno	67,12 b (4,49)	6,24 b (0,87)	16,92 b (1,14)	18,04 b (1,30)	69,83 a (1,95)	
	Média	68,65 C (2,99)	9,02 B (1,06)	19,17 B (0,63)	21,28 B (0,88)	65,57 C (2,06)	-
<i>E. major</i> (MJ)	Cerne	62,84 a (7,94)	11,80 a (1,27)	20,90 a (2,59)	24,02 a (2,72)	60,44 b (2,27)	6,86
	Alburno	65,79 a (2,82)	7,07 b (0,81)	16,92 b (0,76)	18,34 b (0,96)	67,39 a (1,73)	
	Média	64,31 D (3,50)	9,43 B (0,86)	18,91 B (1,45)	21,18 B (1,59)	63,92 D (1,39)	-
<i>E. amplifolia</i> (AMP)	Cerne	62,68 a (3,33)	12,16 a (2,46)	20,32 a (1,09)	23,74 a (2,06)	59,41 b (4,14)	3,65
	Alburno	63,91 a (4,33)	8,75 b (0,76)	19,86 a (1,59)	21,71 b (1,68)	66,20 a (1,44)	
	Média	63,30 D (2,51)	10,45 A (1,15)	20,09 A (0,85)	22,72 A (1,02)	62,81 D (2,26)	-

L*: luminosidade; a*: coordenada cromática verde-vermelho; b*: coordenada cromática azul-amarelo; C: saturação da cor; h: ângulo de tinta; ΔE = variação total da cor da madeira. Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna entre cerne e alburno para cada espécie, não diferem entre si pelo teste F ($P \geq 0,05$); e mesma letra maiúscula na coluna para as médias das espécies, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P \geq 0,05$).




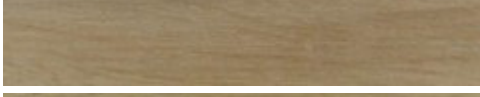
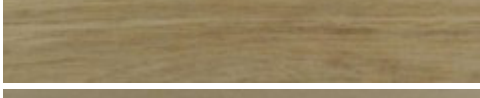
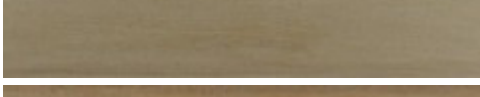
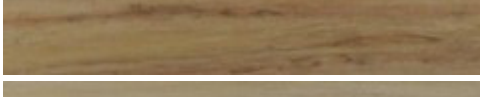
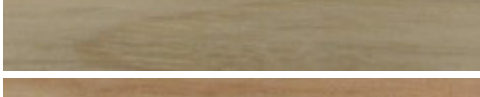
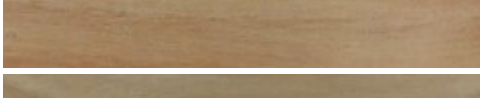

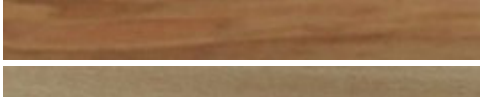
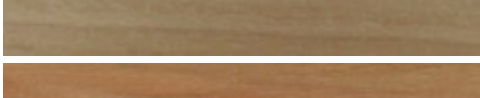
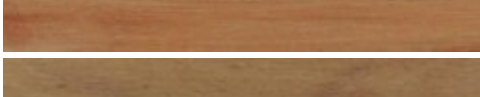

A luminosidade do CCV, CH e CCC foram semelhantes estatisticamente, assim como a do MJ e AMP. As demais espécies se diferiram de todas as outras para esta variável. A luminosidade em relação ao cerne e alburno de uma mesma espécie foi distinta para a maioria das espécies, apenas o CCV, MJ e AMP apresentaram valores semelhantes. Houve a tendência do gênero *Eucalyptus* apresentar maior pigmento vermelho no cerne, assim como a saturação da cor, visto que a coordenada cromática a* para todas as espécies estudadas foram estatisticamente diferentes, ao comparar cerne e alburno.

Se tratando da coordenada cromática b*, apenas o AMP apresentou cerne e alburno sem diferença significativa, sendo que, o cerne sempre dispôs de maiores resultados dessa variável.

No geral, o desvio padrão das variáveis analisadas no alburno foi menor do que no cerne. O cerne da madeira do MJ apresentou alguns desvios altos comparados as outras espécies.

A saturação da cor foi diferente entre o cerne e alburno para todas as espécies, já o ângulo de tinta apresentou semelhança entre cerne e alburno apenas para o CCC (Tabela 2). A maioria das espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia* apresentaram cor cinza rosado (Quadro 1). Algumas madeiras dispuseram da mesma classificação de cor tanto para o cerne quanto para o alburno, ou seja, maior a homogeneidade ao longo do diâmetro.

Quadro 1. Classificação da cor segundo os parâmetros colorimétricos do cerne e alburno das espécies de *Corymbia* e *Eucalyptus* não tradicionais aos 6 anos de idade.

Espécies	Porção	Cor predominante*	Figura das amostras
<i>C. torelliana</i> (CT)	Cerne	Cinza rosado	
	Alburno	Cinza rosado	
<i>C. citriodora</i> subsp. <i>variegata</i> (CCV)	Cerne	Branco	
	Alburno	Cinza rosado	
<i>C. henryi</i> (CH)	Cerne	Cinza rosado	
	Alburno	Branco acinzentado e Cinza rosado	
<i>C. citriodora</i> subsp. <i>citriodora</i> (CCC)	Cerne	Cinza rosado	
	Alburno	Cinza rosado e Branco acinzentado	
<i>E. longirostrata</i> (EL)	Cerne	Rosa e Marrom claro	
	Alburno	Cinza rosado	
<i>E. major</i> (MJ)	Cerne	Rosa	
	Alburno	Rosa acinzentado e Cinza rosado	
<i>E. amplifolia</i> (AMP)	Cerne	Rosa	
	Alburno	Rosa acinzentado	







*Classificação proposta por Camargos & Gonzalez (2001).

A madeira do EL apresentou a maior variação total da cor entre cerne e albúrnio, comparada as demais espécies (Tabela 2). A região do cerne possui um aspecto bem rosado e saturado, enquanto o albúrnio é mais opaco e acinzentado. Comportamento semelhante foi observado para a espécie MJ.

Máximo desvio angular (MAD)

O MAD não diferiu significativamente entre as seis espécies analisadas, não havendo, portanto, distinção dessa variável entre os gêneros estudados (Quadro 2).

Quadro 2. Máximo desvio angular (MAD) e sua classificação para as espécies de *Corymbia* e *Eucalyptus* não tradicionais aos 6 anos de idade.

Espécie	MAD (°)	Classificação do MAD	Ilustração dos desvios da grã
<i>C. torelliana</i> (CT)	7,86 A (2,44)	Fortemente intercruzada	
<i>C. citriodora subsp. variegata</i> (CCV)	6,44 A (2,52)	Intercruzada	
<i>C. henryi</i> (CH)	6,36 A (2,98)	Intercruzada	
<i>C. citriodora subsp. citriodora</i> (CCC)	6,39 A (3,74)	Intercruzada	
<i>E. longirostrata</i> (EL)	7,33 A (3,96)	Fortemente intercruzada	
<i>E. major</i> (MJ)	4,43 A (2,44)	Moderadamente intercruzada	

Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P \geq 0,05$).

O MAD das espécies de *Corymbia* aos 6 anos, teve média de $6,76^\circ$ e desvio padrão em torno de $2,92^\circ$. Para a madeira das espécies de *Eucalyptus* a média foi menor, cerca de $5,88^\circ$ e desvio padrão de $3,20^\circ$. O CT apresentou o maior MAD entre as espécies estudadas, em valor absoluto, apresentando uma grã fortemente intercruzada, enquanto o MJ o menor ($4,43^\circ$), com grã moderadamente intercruzada.

Densidade aparente e contrações da madeira

O EL apresentou a maior densidade aparente, em valores absolutos, enquanto o CT obteve o menor resultado (Tabela 3). As espécies CH, CCC e EL não apresentaram diferenças significativas, formando o grupo de madeiras de alta densidade aparente, seguidas pelo CCV e MJ também classificados como de densidade alta. A madeira do CT foi a menos densa entre as espécies avaliadas, classificada como de média densidade, conforme Melo et al. (1990).

Enquanto o MJ apresentou valores dentro da faixa observada para eucalipto, o EL superou o limite, configurando-se como uma espécie com densidade relativamente alta. A contração radial, tangencial e volumétrica e o fator anisotrópico das espécies CH, MJ e CCV foram semelhantes (Tabela 3). A madeira do EL e do CCC diferem apenas na contração volumétrica. O CT apresentou um comportamento divergente em relação as demais espécies, por ser o mais resistente às contrações e menor densidade aparente, enquanto o EL apresentou a maior contração volumétrica e maior densidade.

O EL apresentou as maiores contrações, mas em contrapartida, obteve o menor coeficiente de anisotropia, o que indica a maior proporcionalidade da variação nas faces radial e tangencial, já o CT apresentou as menores contrações. A contração longitudinal foi estatisticamente igual para todas espécies, exceto para o MJ, que apresentou as maiores médias.

Tabela 3. Densidade aparente e contrações da madeira de espécies de *Corymbia* e *Eucalyptus* não tradicionais aos 6 anos de idade.

Espécies	Densidade aparente 12% (Kg m ⁻³)	Contrações (%)				FA
		Longitudinal	Radial	Tangencial	Volumétrica	
<i>C. torelliana</i> (CT)	662 C (52)	0,36 B (0,30)	4,71 C (1,10)	6,48 B (0,32)	12,64 C (1,12)	1,45 A (0,38)
<i>C. citriodora</i> subsp. <i>variegata</i> (CCV)	794 B (19)	0,15 B (0,10)	6,13 B (2,37)	8,72 A (1,21)	16,98 B (4,45)	1,53 A (0,34)
<i>C. henryi</i> (CH)	847 A (84)	0,12 B (0,11)	6,70 B (1,29)	9,54 A (0,40)	18,63 B (1,55)	1,46 A (0,25)
<i>C. citriodora</i> subsp. <i>citriodora</i> (CCC)	861 A (57)	0,25 B (0,17)	7,73 A (0,72)	9,42 A (0,26)	19,97 B (0,96)	1,23 B (0,11)
<i>E. longirostrata</i> (EL)	868 A (57)	0,36 B (0,15)	8,72 A (0,89)	10,23 A (1,58)	22,53 A (2,92)	1,18 B (0,17)
<i>E. major</i> (MJ)	774 B (59)	0,72 A (0,66)	6,46 B (1,02)	9,66 A (1,06)	19,24 B (2,33)	1,52 A (0,25)

FA: Fator anisotrópico. Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (P ≥ 0,05).

A contração volumétrica foi elevada para todas as espécies (Tabela 3). Foi notória a tendência de as espécies do gênero *Eucalyptus* apresentarem maiores valores de contrações (radial, tangencial, longitudinal e volumétrica) que as espécies de *Corymbia*.

A madeira das espécies avaliadas apresentou contração radial variando de alta (CT) a muito alta (as demais espécies), contração tangencial média (CT) a muito altas (as demais) e contração volumétrica alta (CT) a muito altas (as demais), conforme a classificação proposta por Bárcenas (1985).

Flexão estática e cisalhamento da madeira

O MOR do ensaio de flexão estática e a resistência ao cisalhamento não apresentaram diferenças significativas para as seis espécies avaliadas (Tabela 4). As madeiras de CCC, CH e CCV foram estatisticamente semelhantes em todas as variáveis obtidas pelos ensaios de flexão estática (MOR e MOE) e de resistência ao cisalhamento.

Tabela 4. Módulos de ruptura e elasticidade no ensaio de flexão estática e resistência ao cisalhamento da madeira das espécies de *Corymbia* e *Eucalyptus* não tradicionais aos 6 anos de idade.

Espécies	MOR (MPa)	MOE _{12%} (MPa)	Cisalhamento (MPa)
<i>C. torelliana</i> (CT)	66 A (11)	7.149 B (1.496)	12,30 A (1,53)
<i>C. citriodora</i> subsp. <i>variegata</i> (CCV)	103 A (28)	12.140 A (4.096)	15,27 A (3,11)
<i>C. henryi</i> (CH)	108 A (32)	12.771 A (1.371)	14,38 A (2,89)
<i>C. citriodora</i> subsp. <i>citriodora</i> (CCC)	114 A (29)	13.317 A (3.215)	14,81 A (3,01)
<i>E. longirostrata</i> (EL)	92 A (29)	10.441 B (1.889)	15,93 A (2,90)
<i>E. major</i> (MJ)	83 A (29)	8.890 B (2.514)	14,45 A (2,30)

MOR: módulo de ruptura; MOE: módulo de elasticidade. Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (P ≥ 0,05).

Em valores absolutos, a madeira do CCC apresentou o maior valor de MOE e MOR, enquanto o CT (menos densa dentre as espécies avaliadas) os menores resultados, comportamento semelhante ao que ocorreu para a densidade aparente, o que indica o efeito da densidade na rigidez e resistência mecânica da madeira. A madeira de EL foi a mais resistente ao cisalhamento e a de CT apresentou a menor resistência.

As madeiras de todas as espécies não tradicionais avaliadas apresentaram alta resistência ao cisalhamento. Quanto ao MOR e MOE, não há uma uniformização das classes. O CT apresentou MOR médio, mas MOE baixo, enquanto a madeira das demais espécies possui MOR alto. Alta rigidez ou MOE alto, foi observado apenas para a madeira de CCC. A madeira de MJ apresentou baixo MOE, enquanto as espécies, CCV, CH e EL possuem rigidez classificada como média, conforme a classificação proposta pelo Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (2005).

Compressão paralela e dureza Janka

A madeira de CH apresentou a maior resistência à compressão paralela e a de CT os menores valores. A resistência à compressão da madeira foi semelhante estatisticamente entre as espécies do gênero *Eucalyptus*, e, houve proximidade dos resultados desse gênero com as espécies CT e CCV (Tabela 5).

Tabela 5. Resistência à compressão paralela e Durezas Janka paralela e perpendicular às fibras da madeira das espécies de *Corymbia* e *Eucalyptus* não tradicionais aos 6 anos de idade.

Espécies	Compressão paralela (MPa)	Dureza Janka paralela (KN)	Dureza Janka perpendicular (KN)
<i>C. torelliana</i> (CT)	42,96 B (4,81)	5,82 Ca (0,43)	5,19 Bb (0,44)
<i>C. citriodora subsp. variegata</i> (CCV)	48,05 B (6,61)	5,65 Cb (0,40)	6,79 Aa (0,89)
<i>C. henryi</i> (CH)	58,36 A (5,46)	7,00 Ba (1,23)	7,84 Aa (1,13)
<i>C. citriodora subsp. citriodora</i> (CCC)	55,89 A (8,07)	6,88Ba (1,01)	7,50 Aa (1,72)
<i>E. longirostrata</i> (EL)	46,06 B (11,20)	8,03 Aa (0,95)	6,83 Aa (1,70)
<i>E. major</i> (MJ)	47,86 B (5,68)	8,66 Aa (1,08)	7,15 Ab (0,96)
<i>E. amplifolia</i> (AMP)	42,45 B (3,61)	6,70 Ba (0,83)	4,71 Bb (0,91)

Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha para durezas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott e teste F, respectivamente (P ≥ 0,05).

Já o CH e o CCC obtiveram as maiores médias de compressão paralela da madeira, e são estatisticamente semelhantes. No geral, o gênero *Corymbia* apresentou maiores valores de compressão, quando comparado ao gênero *Eucalyptus*, principalmente por suas altas densidades (Tabela 5). A resistência à compressão da madeira de CH e CCC pode ser classificada como alta, enquanto as das demais espécies como média (Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 2005).

A madeira de maior dureza Janka paralela às fibras foi a do MJ, enquanto a do CCV apresentou o menor valor (Tabela 5). Já a dureza Janka perpendicular às fibras da madeira, o CH obteve a maior média e o CT a menor. No geral, as espécies de *Eucalyptus* apresentaram maior dureza paralela da madeira comparadas às espécies de *Corymbia* avaliadas, e o oposto

ocorreu para a dureza perpendicular às fibras. As espécies CH, CCC e EL não apresentaram diferenças significativas entre as duas direções de ensaio (paralela e normal).

Correlação entre densidade aparente e propriedades mecânicas

Todas as propriedades mecânicas apresentaram correlação de Pearson significativa e positiva com a densidade aparente da madeira, ou seja, valores altos de densidade estão associados a valores altos das propriedades mecânicas, porém os resultados mostraram uma correlação de intensidade fraca (Figura 2).

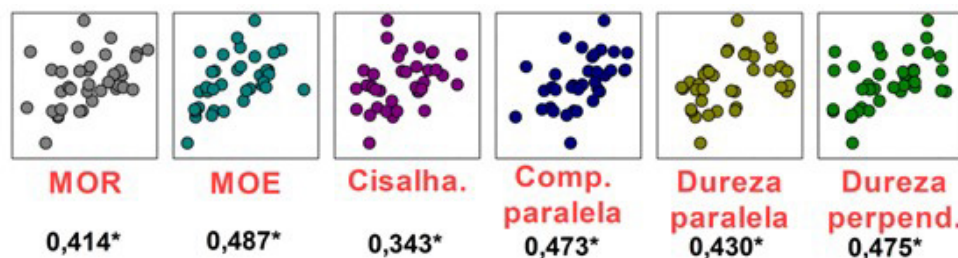


Figura 2. Correlação de Pearson entre densidade aparente e propriedades mecânicas.

*Correlação significativa a 5% de probabilidade ($P < 0,05$). MOR: módulo de ruptura; MOE: módulo de elasticidade; Cisalha.: resistência ao cisalhamento; Comp. paralela: resistência à compressão paralela às fibras da madeira; Dureza perpend.: dureza Janka perpendicular às fibras da madeira.

A densidade se relacionou melhor com o MOE (0,487) e teve uma pior relação com a resistência ao cisalhamento (0,343), sendo o único resultado abaixo de 0,40. Ao realizar a correlação entre MOR e MOE, foi obtido um coeficiente de 0,851, significativo e forte, como esperado, devido a relação que essas duas propriedades possuem entre si.

DISCUSSÃO

Cor da madeira

Em geral, durante o processo de cernificação, as paredes das células são impregnadas por taninos, resinas e materiais corantes que causam obstrução dos vasos e geram uma cor mais escura em relação ao albúrnio (Nogueira & Ballarin, 2008). A diferença de luminosidade em relação ao cerne e albúrnio dentro da mesma espécie, revela a importância do estudo da cor entre essas duas regiões distintas da árvore. O cerne da madeira do MJ apresentar desvios altos comparados as outras espécies, é resultado da oscilação da tonalidade na formação da cor dessa região. O cerne da madeira apresenta maior teor de extrativos do que o albúrnio, a cor é diretamente influenciada pelos tipos de extrativos presentes (Maia et al., 2020), o que também justifica a diferença notória de cor encontrada para essas duas regiões dentro de uma mesma espécie.

O gênero *Eucalyptus* apresentar maior pigmento vermelho no cerne também foi confirmado por Garcia et al. (2014). A cor cinza rosado presente na maioria das espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia* avaliadas pode ser atribuída a maior participação da coordenada b^* e menores valores de a^* . A participação da coordenada b^* é essencial para compor a cor final das espécies (Garcia et al., 2014). O ângulo de tinta define a cor em si e é diretamente influenciado pelo matiz amarelo (Camargos & Gonzalez, 2001).

A cor deve ser incluída nas análises de caracterização tecnológica da madeira, pois permite um padrão de qualidade exigido no mercado mundial para suprir a demanda dos usos mais nobres desse material (Mori et al., 2004), como a produção de pisos, indústria moveleira, construção civil e naval, portas e janelas, entre outros.

Outros estudos deverão ser realizados para ampliar o entendimento da formação da cor da madeira dessas espécies, visto que geralmente ela é afetada por fatores como umidade,

densidade, composição química, condições de crescimento, entre outros, sendo uma variável importante do ponto de vista estético e para comercialização da madeira como produto sólido.

Máximo desvio angular (MAD)

O fato de não haver diferenças significativas entre o MAD de espécies de eucalipto também foi confirmado por Coelho et al. (2020). O inter cruzamento da grã, presente em todas as espécies nesse estudo, pode levar a madeira a apresentar uma maior variabilidade de comportamento na usinagem e de estabilidade dimensional, em contrapartida, pode melhorar a condutividade de água para a copa das árvores e a capacidade de responder positivamente às alterações das condições ambientais (Webb, 1969), bem como aumentar a resistência ao cisalhamento e de rachaduras de topo de toras (Silva et al., 2019), o que torna as madeiras em estudo aptas para construção civil e produtos sólidos.

Ao estudar o MAD de sete clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 13 anos, Coelho et al. (2020) encontraram médias de 5,30° a 7,20°. Os valores de MAD do presente estudo estão próximos do intervalo citado, sendo as pequenas diferenças explicadas pela distinção da idade de corte, fatores genéticos e ambientais, condições de crescimento e de amostragem (Silva et al., 2019).

A grã da madeira é influenciada por fatores genéticos e ambientais que atuam sob a árvore em crescimento, como direção dos ventos na localidade da plantação, disponibilidade hídrica, radiação solar, altitude e inclinação do terreno (Fonweban et al., 2013). Os resultados aqui observados somados aos de Webb (1969), Hernández & Almeida (2003), Vidaurre et al. (2017), Silva et al. (2019) e França et al. (2020), deixam claro a complexidade dos desvios da grã existentes nas mais diversas espécies madeireiras.

Densidade aparente e contrações da madeira

Espécies do gênero *Corymbia*, de modo geral, são mais densas do que as de *Eucalyptus*. A densidade aparente (a 12% de umidade) da madeira de espécies de *Corymbia* plantadas no Brasil variam de 616 a 951 Kg m⁻³ dos 7 aos 17 anos de idade (Ferreira, 2013; Garcia et al., 2014; Eleotério et al., 2015; Santos & Garcia, 2019), enquanto que para a madeira do gênero *Eucalyptus* varia de 500 a 850 Kg m⁻³ dos 6 aos 17 anos (Garcia et al., 2014; Eleotério et al., 2015; Alves et al., 2017; Rocha et al., 2017; Santos & Garcia, 2019). Essas faixas de densidade permitem a compreensão do potencial das espécies avaliadas, pois aos 6 anos de idade já apresentam densidades próximas ou acima do limite superior observado para idades mais avançadas, como 17 anos.

A densidade elevada dessas espécies não tradicionais gera vantagens para alguns seguimentos do setor florestal, quando comparadas as espécies comumente utilizadas. Em construção civil por exemplo, é indispensável a utilização de madeira com alta resistência mecânica (Scanavaca Junior & Garcia, 2004), logo, uma densidade mais elevada é preferível, devido à forte relação entre a densidade da madeira e as suas propriedades mecânicas (Lobão et al., 2004). Para produção de carvão vegetal, é essencial que a madeira apresente alta densidade básica, pois assim, a massa do carvão vegetal produzido será maior em relação a um determinado volume e maior também será a densidade aparente do carvão (Brito et al., 1983).

O EL apresentar maior contração volumétrica e maior densidade pode estar relacionado a condição de madeiras mais densas possuírem maior proporção de células com paredes mais espessas, o que causa maior sorção de água por unidade de volume, levando a madeira a contrair ou expandir em maior proporção que as de menor densidade (Basset, 1994).

O fator anisotrópico é a razão entre as contrações tangencial e radial, logo espécies que apresentam valores dessas contrações mais próximas da unidade são consideradas mais estáveis (Miranda et al., 2012). No entanto, as espécies com maiores contrações dimensionais obtiveram fator anisotrópico menor comparadas as espécies com menores contrações, logo o fator anisotrópico isoladamente não é uma variável precisa para avaliar a estabilidade dimensional da madeira.

As baixas contrações do CT foram inferiores as observadas por Eleotério et al. (2015), principalmente devido a diferença de genótipo/procedência, idade de corte e condições de crescimento. O CCC apresentou valores de contração volumétrica semelhantes aos descritos na literatura (Oliveira et al., 2010; Medeiros et al., 2016).

A contração longitudinal da madeira varia entre 0,1 e 0,9% e se comporta inversamente à densidade (Kollmann & Cotê, 1968). Essa relação foi comprovada apenas para a madeira das espécies CT e MJ, de menores densidades. Espécies do gênero *Eucalyptus* apresentarem maiores valores de contrações que as espécies de *Corymbia* também foi comprovado por Oliveira et al. (2010).

As espécies de *Eucalyptus* não tradicionais mostraram uma variação dimensional maior do que os clones de *E. urophylla* x *E. grandis*, amplamente utilizados no Brasil, como observado aos 4 anos (Medeiros et al., 2016) e dos 6 a 8 anos (Talgatti et al., 2018), com valores de 5, 7 e 15% para contração radial, tangencial e volumétrica, respectivamente. As madeiras de *Corymbia* dispuseram de menor variação das contrações comparadas ao *E. urophylla* aos 6,3 anos (Evangelista et al., 2010).

Flexão estática e cisalhamento da madeira

Os valores de MOE e MOR encontrados para a espécie CT com 6 anos, foram inferiores aos encontrados por Lopes et al. (2015), para a mesma espécie, principalmente devido a heterogeneidade da madeira e diferenças de idade. Já os valores encontrados para as espécies de *Eucalyptus* não tradicionais estão próximos aos da literatura para a madeira de eucalipto cultivada no Brasil, como Silva et al. (2005), ao estudar *E. grandis* em diferentes idades (10, 14, 20 e 25 anos) e Rocha et al. (2017), ao estudar *Eucalyptus* sp. para madeira serrada, em idade não informada.

Os valores de cisalhamento para as madeiras das espécies de *Eucalyptus* não tradicionais estão acima do normalmente encontrados na literatura, por exemplo, para *E. grandis* (Santos Neto, 1999) e *E. saligna* (Matos & Molina, 2016), ambos em idade não informada. Esse resultado pode ser justificado por esses eucaliptos terem madeira mais densa que os amplamente plantados no Brasil (Rocha et al., 2020), o que os tornam mais propícios para suprir as demandas das indústrias de base florestal, nas quais é desejado uma madeira de densidade alta.

Compressão paralela e dureza Janka

A resistência à compressão, com exceção do CT, para a maioria das espécies de *Corymbia* analisadas estão em conformidade com a literatura para o gênero, como a espécie *C. citriodora* aos 7 anos (Veiga et al., 2018) e o *C. maculata* aos 24 anos (Leite, 2014). Ao comparar as espécies de *Corymbia* com clones de *E. urophylla* aos 7 anos (55 MPa) estudados por Veiga et al. (2018), é notória a semelhança de resultados de compressão, principalmente para o CCC e CH.

As espécies de *Eucalyptus* não tradicionais analisadas, apesar da elevada densidade, apresentaram médias inferiores de resistência à compressão observada para outras espécies do gênero (Lobão et al., 2004; Leite, 2014; Veiga et al., 2018). As árvores estudadas são de procedência seminal, o que contribui com maiores variações em suas propriedades tecnológicas entre os indivíduos da mesma espécie.

As diferenças entre dureza Janka paralela e perpendicular ocorrem devido a anisotropia da madeira, que origina comportamento diverso conforme a direção de aplicação da carga em relação às fibras. Espécies de *Eucalyptus* apresentarem maior dureza paralela da madeira quando comparadas às espécies de *Corymbia* também foi observado por Leite (2014). Apesar das espécies CH, CCC e EL não apresentarem diferenças significativas entre as duas direções de ensaio, não é possível afirmar para este estudo que a dureza perpendicular tendeu a ser maior que a paralela, ou vice e versa.

A dureza paralela das madeiras das espécies CH e CCC, mesmo em idade jovem, se aproximou da espécie *C. maculata* aos 24 anos estudada por Leite (2014). A dureza paralela das madeiras das espécies do gênero *Eucalyptus* estudadas foi maior do que à encontrada por

Nogueira et al. (2019) para a madeira de *E. alba* aos 12 anos de idade, porém, foi inferior aos valores encontrados por Leite (2014) para as madeiras de *E. cloeziana* e *E. resinifera* aos 24 anos. A dureza perpendicular da madeira das espécies avaliadas foi inferior a observada nos trabalhos citados.

Correlação entre densidade aparente e propriedades mecânicas

O MOR e o MOE da madeira possuem alta correlação com a densidade, logo, são influenciados pela qualidade da madeira juvenil (Larson et al., 2001), porém nesse estudo essa relação foi baixa, mas não deixou de ser significativa, considerando que são espécies de procedência seminal e madeira jovem. Médias superiores de MOE estarem associadas a maiores médias de densidade aparente da madeira, possui relação com a composição química, na qual, maiores quantidades de celulose nas camadas internas da parede celular proporcionam maior rigidez na madeira (Calegari et al., 2011).

Testes de cisalhamento de lotes de madeira de *E. grandis* resultou em uma resistência para madeira de baixa densidade de quase 29% menor em relação à de alta densidade (Lobão et al., 2004). Ao estudarem *E. grandis* aos 21 anos de idade, Lima & Garcia (2010) encontraram uma relação positiva e um coeficiente de determinação de 98% entre densidade aparente e resistência a compressão paralela da madeira, permitindo o uso dessa propriedade como estimador de densidade aparente. A relação entre densidade e dureza Janka obtida por Yojo et al. (2020) para diversas espécies de eucalipto resultou em um coeficiente de determinação de 84%, os levando a concluir que a dureza Janka pode ser utilizada para estimação da densidade aparente da madeira.

Madeira de eucalipto com menor densidade tende a apresentar menor resistência mecânica, quando comparada a madeira de alta densidade, confirmando a forte relação entre a densidade da madeira e as suas propriedades mecânicas (Lobão et al., 2004), afirmação essa que vai de encontro aos resultados obtidos, pois apesar da correlação encontrada não ter sido forte, foram todas significativas. Houve uma relação diretamente proporcional entre MOR e MOE, quanto maior o MOE, maior o MOR, corroborando com os trabalhos de França et al. (2021) e Lima et al. (2022), pelos quais, existem correlações positivas entre a rigidez e a resistência de peças fletidas.

CONCLUSÃO

Existe clara distinção nas cores do cerne e alburno das madeiras analisadas, com maior variação nas espécies de *Eucalyptus*. O máximo desvio angular não alterou significativamente entre as espécies analisadas. As espécies de *Corymbia* apresentaram alta densidade aparente e maiores módulo de elasticidade e resistências à compressão paralela, enquanto as de *Eucalyptus* maiores contrações e alta dureza Janka paralela. Não foram encontradas diferenças significativas na resistência ao cisalhamento. As correlações encontradas entre a densidade aparente e as propriedades mecânicas foram significativas, porém fracas, não sendo indicadas como estimadores de densidade para essas espécies não tradicionais, jovens e seminais analisadas.

As propriedades das espécies estudadas assemelharam-se a clones comerciais de eucalipto, indicando seu potencial uso comercial para produtos sólidos, tais como madeira serrada, construção civil, moirões, móveis e produtos de valor agregado, porém, é necessário atenção quanto as contrações da madeira dessas espécies.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais e ao Programa Cooperativo de Melhoramento Florestal, pela parceria na execução da pesquisa e concessão de bolsas; a empresa Vallourec pela disponibilidade do material; a Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelo financiamento de projetos e bolsas de pesquisa.

REFERÊNCIAS

- Alves, R. C., Oliveira, A. L. C., & Carrasco, E. V. M. (2017). Propriedades físicas da madeira de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. *Floresta e Ambiente*, 24, e00015312. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.015312>.
- American Society for Testing and Materials – ASTM. (2014). *ASTM D143-09: Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber*. Philadelphia: ASTM Standards.
- American Society for Testing and Materials – ASTM. (2022). *ASTM D2244-21: Standard Practice for Calculation of Color Tolerances and Color Differences from Instrumentally Measured Color Coordinates*. West Conshohocken: ASTM Standards.
- Araújo, C. S. F., Moraes, G. S. S., Diniz, J. R. S., Protásio, T. P., & Goulart, S. L. (2022). Propriedades físicas e colorimétricas da madeira de espécies amazônicas. *Biofix Scientific Journal*, 7(2), 150-159. <http://dx.doi.org/10.5380/biofix.v7i2.85707>.
- Assis, T. F., Warburton, P., & Harwood, C. (2005). Artificially induced protogyny: an advance in the controlled pollination of *Eucalyptus*. *Australian Forestry*, 68(1), 27-33. <http://dx.doi.org/10.1080/00049158.2005.10676223>.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. (1997). ABNT NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro: ABNT.
- Bárceñas, P. G. M. (1985). *Recomendaciones para el uso de 80 maderas de acuerdo con su estabilidad dimensional*. Instituto de Investigaciones sobre Recursos Bióticos (INIREB). México: Laboratorio de Ciencia y Tecnología de la Madera (LACITEMA).
- Basset, G. (1994). Swelling, shrinking and fire resistance. *Asian Timber*, 13(10), 28-33.
- Boland, D. J., Brooker, M. I. H., Chippendale, G. M., Hall, N., Hyland, B. P. M., Johnston, R. D., Kleinig, D. A., & Turner, J. D. (1984). *Forest trees of Australia* (687 p.). Melbourne: CSIRO.
- Brito, J. O., Barrichelo, L. E. G., & Seixas, F. (1983). Análise da produção energética e de carvão vegetal de espécies de eucalipto. *IPEF*, 23, 53-56.
- Calegari, L., Gatto, D. A., & Stangerlin, D. M. (2011). Influence of moisture content, specific gravity and specimen geometry on the ultrasonic pulse velocity in *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden wood. *Ciência da Madeira*, 2(2), 64-74. <http://dx.doi.org/10.12953/2177-6830.v02n02a01>.
- Camargos, J. A. A., & Gonçalves, J. C. (2001). A colorimetria aplicada como instrumento na elaboração de uma tabela de cores de madeira. *Brasil Florestal*, 71, 30-41.
- Coelho, J. C. F., Vidaurre, G. B., Silva, J. G. M., Almeida, M. N. F., Oliveira, R. F., Segundinho, P. G. A., Alves, R. C., & Hein, P. R. G. (2020). Wood grain angles variations in *Eucalyptus* and their relationships to physical-mechanical Properties. *Holzforschung*, 74(12), 1089-1097. <http://dx.doi.org/10.1515/hf-2019-0131>.
- Eleotério, J. R., Reichert, D., Hornburg, K. F., & Meneguelli, I. (2015). Massa específica e retratibilidade da madeira de seis espécies de eucalipto cultivadas no litoral de Santa Catarina. *Floresta*, 45(2), 329-336. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v45i2.34699>.
- Evangelista, W. V., Silva, J. C., Lucia, R. M. D., Lobo, L. M., & Souza, M. O. A. (2010). Propriedades físico-mecânicas da madeira de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake no sentido radial e longitudinal. *Ciência da Madeira*, 1(2), 1-19. <http://dx.doi.org/10.12953/2177-6830.v01n02a01>.
- Ferreira, A. T. B. (2013). *Avaliação da estrutura anatômica e da densidade aparente do lenho e do carvão de árvores de Eucalyptus sp. e de Corymbia sp.* (Tese de doutorado). Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.
- Fonweban, J., Mavrou, I., Gardiner, B., & Macdonald, E. (2013). Modeling the effect of spacing and site exposure on spiral grain angle on Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) in Northern Britain. *Forestry*, 86(3), 331-342. <http://dx.doi.org/10.1093/forestry/cpt002>.
- França, F. J. N., França, T. S. F. A., & Vidaurre, G. B. (2020). Effect of growth stress and interlocked grain on splitting of seven different hybrid clones of *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla* wood. *Holzforschung*, 74(10), 917-926. <http://dx.doi.org/10.1515/hf-2019-0209>.
- França, F. J. N., Shmulsky, R., Ratcliff, T., Farber, B., Senalik, C. A., Ross, R., & Seale, R. D. (2021). Interrelationships of specific gravity, stiffness, and strength of yellow pine across five decades. *BioResources*, 16(2), 3815-3826. <http://dx.doi.org/10.15376/biores.16.2.3815-3826>.
- Garcia, R. A., Oliveira, N. S., Nascimento, A. M., & Souza, N. D. (2014). Colorimetria de madeiras dos gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia* e sua correlação com a densidade. *Cerne*, 20(4), 509-517. <http://dx.doi.org/10.1590/01047760201420041316>.
- Hernández, R., & Almeida, G. (2003). Effects of wood density and interlocked grain on the shear strength of three Amazonian tropical hardwoods. *Wood and Fiber Science*, 35(2), 154-166.

- Indústria Brasileira de Árvores – IBÁ. (2022). *Relatório Anual IBÁ 2022*. São Paulo: IBÁ. Recuperado em 20 de junho de 2023, de <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2022-compactado.pdf>
- Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. (2005). *Banco de dados de madeiras brasileiras*. Recuperado em 20 de junho de 2023, de <https://lpf.florestal.gov.br/pt-br/madeiras-brasileiras>
- Kollmann, F. F. P., & Cotê, W. A. (1968). *Principles of wood science and technology*. New York: Springer-Verlag. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-87928-9>.
- Larson, P. R., Kretschmann, D. E., Clark, I. A., & Isebrands, J. G. (2001). *Formation and properties of juvenile wood in southern pines – a synopsis* (46 p.). Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. <http://dx.doi.org/10.2737/FPL-GTR-129>.
- Leite, M. K. (2014). *Caracterização tecnológica da madeira de Corymbia maculata, Eucalyptus cloeziana e E. resinifera para a aplicação no design de Produtos de Maior Valor Agregado (PMVA)* (Tese de doutorado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- Lima, I. L., & Garcia, J. N. (2010). Variação da densidade aparente e resistência à compressão paralela às fibras em função da intensidade de desbaste, adubação e posição radial em *Eucalyptus grandis* Hill Ex-Maiden. *Árvore*, 34(3), 551-559. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622010000300019>.
- Lima, V. S., Nascimento, S. L., Santos, M. C., Nascimento, B. L. M., César, S. F., & Dias, L. M. S. (2022). Avaliação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum*) utilizada na indústria de compensados no Estado do Maranhão. *Research. Social Development*, 11(9), e46911932065. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i9.32065>.
- Limaye, V. D. (1954). Interlocking of grain in Indian timbers. *Indian Forester*, 80(1), 6-9. <http://dx.doi.org/10.36808/if%2F1954%2Fv80i1%2F23645>.
- Lobão, M. S., Lúcia, R. M. D., Moreira, M. S. S., & Gomes, A. (2004). Caracterização das propriedades físico-mecânicas da madeira de eucalipto com diferentes densidades. *Árvore*, 28(6), 889-894. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622004000600014>.
- Lopes, D. A., Bertolini, M. S., Christoforo, A. L., & Lahr, F. A. R. (2015). Influence of testing methods to determine the bending modulus of elasticity of wood. *Vértices*, 17(3), 127-137. <http://dx.doi.org/10.19180/1809-2667.v17n315-07>.
- Loureiro, B. A., Assis, M. R., Melo, I. C. N. A., Oliveira, A. F. F., & Trugilho, P. F. (2021). Rendimento gravimétrico da carbonização e caracterização qualitativa do carvão vegetal em clones de híbridos de *Corymbia* spp. para uso industrial. *Ciência Florestal*, 31(1), 214-232. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509836120>.
- Maia, J. H., Ferreira, L. M. M., & Castro, V. G. (2020). Influence of extractives on the color of woods from Caatinga. *Advances in Forestry Science*, 7(2), 1043-1048. <http://dx.doi.org/10.34062/afs.v7i2.9421>.
- Massuque, J., Sanchez, J. Y. S. C., Loureiro, B. A., Setter, C., Lima, M. D. R., Silva, P. H. M., Protásio, T. P., Hein, P. R. G., & Trugilho, P. F. (2022). Evaluating the Potential of Non-commercial *Eucalyptus* spp. and *Corymbia* spp. for Bioenergy in Brazil. *BioEnergy Research*, <http://dx.doi.org/10.1007/s12155-022-10502-5>.
- Matos, G. S., & Molina, J. C. (2016). Resistência da madeira ao cisalhamento paralelo às fibras segundo as normas ABNT NBR 7190:1997 e ISO 13910:2005. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 21(4), 1069-1079. <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620160004.0098>.
- Medeiros, B. L. M. A., Guimarães Junior, J. B., Ribeiro, M. X., Lisboa, F. J. N., Guimarães, I. L., & Protásio, T. P. (2016). Avaliação das propriedades físicas e químicas da madeira de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* cultivadas no Piauí. *Nativa (Sinop)*, 4(6), 403-407. <http://dx.doi.org/10.14583/2318-7670.v04n06a10>.
- Melo, A. B. (2022). *Produtividade e qualidade da madeira de espécies de Corymbia e Eucalyptus em dois sítios do Brasil* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro.
- Melo, J. E., Coradin, V. R., & Mendes, J. C. (1990). Classes de densidade para madeiras da Amazônia brasileira. In *Anais do VI Congresso Florestal Brasileiro*, Campos do Jordão, SP.
- Miranda, M. C., Castelo, P. A. R., Miranda, D. L. C., & Rondon, E. V. (2012). Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Parkia gigantocarpa* Ducke. *Ciência da Madeira*, 3(2), 55-65. <http://dx.doi.org/10.12953/2177-6830.v03n02a09>.
- Mori, C. L. S. O., Mori, F. A., Lima, J. T., Trugilho, P. F., & Oliveira, A. C. (2004). Influência das características tecnológicas na cor da madeira de eucaliptos. *Ciência Florestal*, 14(2), 123-132. <http://dx.doi.org/10.5902/198050981812>.
- Nogueira, M. C. J. A., Araujo, V. A., Vasconcelos, J. S., Prativiera, F., Vasconcelos, J. C. S., Cruz, J. N., Christoforo, A. L., & Lahr, F. A. R. (2019). Propriedades físico-mecânicas da madeira de *Eucalyptus alba* para construção civil. *Ciência da Madeira*, 10(1), 71-77. <http://dx.doi.org/10.12953/2177-6830/rcm.v10n1p71-77>.

- Nogueira, M., & Ballarin, A. W. (2008). Efeito da idade na qualificação mecânica da madeira serrada de *Eucalyptus* sp. com uso de ensaios não-destrutivos. *Energia na Agricultura*, 23(3), 74-94.
- Oliveira, J. T. S., & Tomazello Filho, M., & Fiedler, N. C. (2010). Avaliação da retratibilidade da madeira de sete espécies de *Eucalyptus*. *Árvore*, 34(5), 929-936. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622010000500018>.
- Rocha, S. M. (2022). *Qualidade da madeira de clones híbridos de Corymbia torelliana e Corymbia citriodora para produção de carvão vegetal siderúrgico* (Tese de doutorado). Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro.
- Rocha, S. M. G., Silva, J. G. M., Almeida, M. N. F., Coelho, J. C. F., Brito, T. M., Câmara, A. P., Dambroz, G. B. V., & Oliveira, J. T. S. (2017). Resistência a flexão em peças de madeira de eucalipto para produção de estofados. In *Anais do III Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira*, Florianópolis, SC.
- Rocha, S. M. G., Vidaurre, G. B., Pezzopane, J. E. M., Almeida, M. N. F., Carneiro, R. L., Campoe, O. C., Scolforo, H. F., Alvares, C. A., Neves, J. C. L., Xavier, A. C., & Figura, M. A. (2020). Influence of climatic variations on production, biomass and density of wood in eucalyptus clones of different species. *Forest Ecology and Management*, 473, 118290. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118290>.
- Santos Neto, A. B. S. (1999). *Cisalhamento em corpos-de-prova de madeira* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.
- Santos, W. A., & Garcia, R. A. (2019). Efeito da densidade e da cor na molhabilidade da superfície de madeiras de eucalipto. *Scientia Forestalis*, 47(122), 245-255. <http://dx.doi.org/10.18671/scifor.v47n122.07>.
- Scanavaca Junior, L., & Garcia, J. N. (2004). Determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus urophylla*. *Scientia Forestalis*, 65, 120-129.
- Silva, J. C., Matos, J. L. M., Oliveira, J. T. S., & Evangelista, W. V. (2005). Influência da idade e da posição radial na flexão estática da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. *Árvore*, 29(5), 795-799. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622005000500014>.
- Silva, J. G. M., Vidaurre, G. B., Minini, D., Oliveira, R. F., Rocha, S. M. G., & Gonçalves, F. G. (2019). Qualidade da madeira de mogno brasileiro plantado para a produção de serrados. *Scientia Forestalis*, 47(121), 1-12. <http://dx.doi.org/10.18671/scifor.v47n121.01>.
- Silva, P. H. M., Araujo, M. J., Lee, D., Bush, D., Baroni, G. R., & Paula, R. C. (2022). Adaptability and stability of novel eucalypt species and provenances across environments in Brazil at two ages. *New Forest*, 53, 779-796. Recuperado em 20 de junho de 2023, de <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11056-021-09886-7>.
- Silva, P. H. M., Lee, D. J., Miranda, A. C., Marino, C. L., Moraes, M. L. T., & Paula, R. C. (2017). Sobrevivência e crescimento inicial de espécies de eucalipto em diferentes condições climáticas. *Scientia Forestalis*, 45(115), 563-571. <http://dx.doi.org/10.18671/scifor.v45n115.13>.
- Talgatti, M., Silveira, A. G., Santini, E. J., Gorski, L., Baldin, T., & Valcorte, G. (2018). Propriedades físicas e mecânicas da madeira de clones de eucalipto. *Scientia Agrária Paranaensis*, 17(4), 434-442. <http://dx.doi.org/10.18188/sap.v17i4.20294>.
- Veiga, T. R. L. A., Lima, J. T., Monteiro, T. C., Dessimoni, A. L. A., & Rocha, M. F. V. (2018). Propriedades mecânicas de amostras individualizadas da madeira e do carvão de *Eucalyptus urophylla* e de *Corymbia citriodora*. *Scientia Forestalis*, 46(117), 107-114. <http://dx.doi.org/10.18671/scifor.v46n117.10>.
- Vidaurre, G. B., Silva, J. G. M., Castro, M., Coelho, J. C. F., Brito, A. S., & Moulin, J. C. (2017). Relação da grã com algumas variáveis do crescimento e propriedades da madeira de *Khaya ivorensis*. *Scientia Forestalis*, 45(114), 249-259. <http://dx.doi.org/10.18671/scifor.v45n114.02>.
- Webb, C. D. (1969). Variation of interlocked grain in sweetgum. *Forest Products Journal*, 19(8), 45-48.
- Yojo, T., Souza, C. O., Miranda, M. J. A. C., & Brazolin, S. (2020). *Dureza Janka como estimador da densidade aparente e das resistências à flexão e compressão em eucalipto*. Ponta Grossa: Atena Editora. <http://dx.doi.org/10.22533/at.ed.028200601>
- Zanuncio, A. J. V., Carvalho, A. G., Silva, E. M. G. C., Monteiro, T. C., Lima, J. T., & Silva, J. R. M. (2015). Propriedades energéticas da madeira e carvão de *Corymbia* e *Eucalyptus* em diferentes condições de secagem. *Agrária*, 10(3), 432-436. <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v10i3a3601>.

Contribuição dos Autores: SLA: Análises laboratoriais, análises estatísticas dos resultados, elaboração de tabelas e escrita do artigo; ABM: Coleta de material e transporte do campo até a Universidade; LJO: Análises laboratoriais; JGMS: Supervisão e auxílio em todas as partes do trabalho; MNFA: Elaboração de figura gráfica e supervisão da escrita; PHMS: Metodologia e supervisão da escrita; GBV: Supervisão e auxílio em todas as partes do trabalho; TFG: Coleta de material e transporte do campo até a Universidade.