

Caracterização física e mecânica da madeira jovem de *Eucalyptus spp.*

Filipe Luigi Dantas Lima Santos¹; Heloise Ferreira Santos²; Melissa Lago de Jesus Silveira Silva¹; Lucas Lima Costa¹; Rita Dione Araújo Cunha¹; Sandro Fábio César¹

¹ Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (PPEC/UFBA), Salvador/BA, Brasil;

² Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador/BA, Brasil – engheloiseferreira@gmail.com

Resumo: Atualmente, as espécies de eucalipto cobrem cerca de 76% das florestas plantadas brasileiras, com produtividade média de 32,7 m³/ha/ano e duração média do ciclo de 6,7 anos. Este artigo tem como objetivo fazer caracterização simplificada de três espécies de madeira de eucalipto com 7 anos de idade cultivados no nordeste do Brasil: *Eucalyptus pellita*, *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus cloeziana*. Para cumprir o objetivo, foi feita a caracterização física (densidade e estabilidade dimensional) e mecânica (resistência compressão paralela às fibras, cisalhamento paralelo às fibras e flexão) segundo método previsto na norma brasileira NBR 7190-3. Como conclusão, os resultados mostraram que as madeiras possuem boa estabilidade dimensional, além de obterem valores de propriedades mecânicas próximas aos de espécies adultas.

Palavras-chave: *Eucalyptus pellita*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus cloeziana*.

Physical and mechanical characterization of young timber from *Eucalyptus spp.*

Abstract: Eucalyptus species currently account for approximately 76% of Brazil's planted forests, with an average productivity of 32.7 m³/ha/year and an average rotation of 6.7 years. This study provides a simplified characterization of three 7-year-old eucalyptus wood species cultivated in northeastern Brazil: *Eucalyptus pellita*, *Eucalyptus urophylla*, and *Eucalyptus cloeziana*. Physical (density and dimensional stability) and mechanical properties (compression parallel to the grain, shear parallel to the grain, and bending) were assessed according to the Brazilian standard NBR 7190-3. The findings indicate that juvenile timber has physical and mechanical properties comparable to those of mature timber.

Keywords: *Eucalyptus pellita*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus cloeziana*.

1. INTRODUÇÃO

O aumento da conscientização ambiental em relação à exploração de áreas naturais, aliado ao custo relativamente baixo para a produção de árvores, tem contribuído para a disseminação da madeira legalizada proveniente de florestas plantadas no Brasil. Atualmente, as florestas plantadas representam 84% da madeira extraída e comercializada no país (SNIF, 2019). Dentro desse cenário, 76%



dessas florestas são dedicadas ao cultivo de espécies de eucalipto, com uma rotação média de corte de 6,7 anos (SNIF, 2019; IBÁ, 2023).

A madeira proveniente de árvores com menos de 20 anos tende a conter uma maior proporção de lenho juvenil, que apresenta composição química e anatômica distinta daquela de árvores adultas (FPL, 2021). Segundo Silva et al. (2021), o lenho juvenil possui fibras menos desenvolvidas, com paredes celulares mais delgadas, menor concentração de celulose e lignina, além de menor densidade em comparação à madeira adulta, o que resulta em propriedades mecânicas inferiores. Considerando que a madeira tem se mostrado uma alternativa promissora para o setor da construção civil, permitindo conciliar o desenvolvimento econômico com a preservação ambiental, torna-se imprescindível a caracterização adequada do material disponível.

Nesse contexto, diante da escassez de pesquisas sobre a determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira jovem de espécies de eucalipto, este estudo tem como objetivo realizar a caracterização simplificada de três espécies de eucalipto produzidas no Brasil: *Eucalyptus pellita*, *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus cloeziana*. Essas espécies foram selecionadas por serem amplamente comercializadas na região do estado da Bahia.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Seleção do material e amostra

Esta pesquisa utilizou madeira de *Eucalyptus pellita*, *Eucalyptus urophylla* clone 1404 e *Eucalyptus cloeziana* originadas de florestas plantadas do município de Araçás–BA (12°13'12" S; 38°12'21" W). As toras possuíam diâmetro médio de 12 cm no topo e 16 cm na base, a idade entre as árvores variou entre 7 e 10 anos de idade.

2.2 Caracterização física

O ensaio de densidade e de estabilidade dimensional foi realizado em estufa SL-100, com auxílio de balança de precisão 0,01g e paquímetro de precisão

0,01mm, de acordo com os procedimentos da norma NBR 7190-3 (ABNT, 2022). A densidade foi corrigida para a condição padrão à 12% de acordo com o gráfico de Kollmann.

2.3 Caracterização mecânica

Os ensaios para a caracterização mecânica seguiram os procedimentos presentes na NBR 7190-3 (ABNT, 2022) e foram realizados em prensa eletromecânica de capacidade máxima de 300 kN e auxílio de relógio comparador para a medição dos deslocamentos e deformações dos corpos de prova. Para este trabalho, a caracterização mecânica contou com os ensaios de resistência à compressão paralela às fibras, resistência à flexão e resistência ao cisalhamento paralelo às fibras. Os valores característicos de resistência foram determinados pelo modelo de distribuição de probabilidades de Weibull.

2.4 Tratamento estatístico

Os testes estatísticos foram feitos no *software* de análise PAST®. A normalidade dos dados foi testada de acordo com o teste de Shapiro-Wilk, para 95% de confiança. Para confirmar as diferenças estatísticas entre os grupos foi utilizado o Teste t de Student de amostras independentes para hipótese de p-valor < 0,05. Não houve normalidade para os dados de densidade e retração tangencial, para isto, foi utilizado teste ANOVA acompanhado de teste Kruskal-Wallis.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização física

A Tabela 1 apresenta as propriedades físicas das madeiras das espécies de *Eucalyptus pellita*, *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus cloeziana*.

Tabela 1. Resultado das propriedades físicas das madeiras de *Eucalyptus pellita*, *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus cloeziana*. (a continuar)

Espécie							
<i>E. pellita</i>	N		802 a	0,21 a	5,95 a	5,35 a	1,24 a
	33	CV %	14	78	16	33	36

Tabela 1. Resultado das propriedades físicas das madeiras de *Eucalyptus pellita*, *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus cloeziana*. (continuação)

Espécie							
<i>E. urophylla</i> COP 1404	N		460 b	0,26 ab	4,63 b	5,57 ab	1,23 a
	42	CV %	7	21	8	12	30
<i>E. cloeziana</i>	N		781 c	0,35 b	4,58 b	5,95 b	1,30 a
	30	CV %	6	41	20	14	24

Nota: : número de corpos de prova; : média; : coeficiente de variação, em %; : densidade aparente na condição-padrão; : coeficiente de retração longitudinal; : coeficiente de retração radial; : coeficiente de retração tangencial. As médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey para 5% de probabilidade.

Fonte: (Autores)

Para a madeira de *E. pellita*, o resultado médio de densidade na condição padrão foi próximo dos 855 kg/m³, encontrados por Garcia *et al.* (2014), e maior que os 706 kg/m³, encontrado por Nunes *et al.* (2016), para madeiras de 17 anos de idade. De acordo com IPT (2009), a densidade esperada para a madeira adulta (idade superior a 20 anos) de *E. pellita* é de 955 kg/m³. Os resultados encontrados na bibliografia mostram que não há consenso nos valores de densidade para madeiras jovens de *E. pellita*, podendo resultar em valores próximos ao de madeiras adultas.

A madeira de *E. urophylla* registrou densidade na condição-padrão igual à 460 kg/m³. A densidade encontrada para o clone estudado nesta pesquisa foi próxima aos 450 kg/m³ presente no trabalho de Evangelista *et al.* (2013) para madeira da mesma espécie com 6 anos de idade. Já a espécie de *E. cloeziana*, obteve resultado de 781 kg/m³. De acordo com Alves *et al.* (2017), a densidade desta espécie varia entre 595 kg/m³ e 1189 kg/m³, para uma amostragem de árvores com 10 anos de idade.

As espécies estudadas não possuem densidade aparente discrepante com os valores médios apresentados na tabela de madeira dicotiledôneas para madeira de

eucalipto presentes na NBR 7190 (ABNT, 1997), da qual para as espécies de eucalipto adulto variam entre 640 kg/m^3 à 1087 kg/m^3 . Por outro lado, vale ressaltar que a norma brasileira espera que a densidade aparente para a espécie de *E. urophylla* adulto seja de 731 kg/m^3 , 58,9% maior que o encontrado na madeira jovem do clonal avaliado, sendo uma diferença significativa.

A retração longitudinal admissível para as madeiras varia de 0,10% a 0,45%, logo, os valores encontrados entre 0,21% e 0,35% é considerada dentro do esperado pela literatura (Calil Junior, Lahr e Dias, 2003). É importante salientar que não foi identificada diferença significativa de retração longitudinal para as diferentes espécies, confirmando a estabilidade da madeira nesse sentido em relação às fibras.

Em relação às retrações no sentido radial e tangencial, foi identificado comportamento diferente do esperado pela literatura, onde a retração no sentido tangencial é aproximadamente duas vezes maior que no sentido radial. Oliveira *et al.* (2010) encontraram comportamento similar em madeiras de *E. citriodora* e *E. tereticornis* com 10 anos de idade e destacaram que a distribuição de umidade não é homogênea em todas as espécies de eucalipto, sendo este o fator responsável pelo comportamento incomum nestas espécies com pouca idade.

Para comparação das características de retração da madeira, é conveniente a análise pelo coeficiente anisotrópico (α), referente a uma relação entre a retração tangencial e radial, de maneira que quanto menor o valor de CA, menor a possibilidade de defeitos devido à secagem. Segundo Alves, Oliveira e Carrasco (2017), as madeiras com coeficiente anisotrópico entre 1,2 e 1,5 tendem a ter menores chances de defeitos durante o beneficiamento.

O valor do coeficiente anisotrópico para a espécie de *E. pellita* foi igual a 1,24, para espécie de *E. urophylla* de 1,23 e para a espécie de *E. cloeziana* foi de 1,30. Quando comparado com outras espécies de eucalipto adulto comercialmente utilizadas na construção, como *E. tereticornis*, *E. saligna* e *E. citriodora*, com respectivos valores de CA iguais a 1,80; 2,06 e 1,40 (IPT, 2009; Batista *et al.*, 2010; Lopes *et al.*, 2011), as espécies estudadas demonstradas mostram valores menores de coeficiente de anisotropia. Sendo assim, pode-se concluir que a madeira de *E. pellita*, *E. urophylla* e *E. cloeziana* jovem são adequadas para utilização em elementos construtivos tal qual outras espécies de eucalipto adulta em relação às

suas propriedades físicas.

Para as peças de *E. cloeziana*, apesar de menor aparecimento de defeitos por tortuosidade das peças por secagem, foi identificada a maior chance de ocorrência de rachaduras por liberação de tensões de crescimento no momento do desdobro. Já para as demais espécies estudadas nesta pesquisa, foi percebido menor aparecimento de rachaduras por tensões de crescimento.

3.2 Caracterização mecânica

A Tabela 2 apresenta as propriedades mecânicas relacionadas ao ensaio de resistência à compressão paralela às fibras, cisalhamento paralelo às fibras e flexão das madeiras das espécies de *Eucalyptus pellita*, *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus cloeziana*.

Tabela 2. Resultado das propriedades mecânicas das madeiras de *Eucalyptus pellita*, *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus cloeziana*.

Espécie						
<i>E. pellita</i>		50,7	12,7	10,6	-	-
	CV %	8,1	9,9	19,0	-	-
	<i>k</i>	46,6	11,6	8,0	-	-
	<i>N</i>	12	8	13	-	-
<i>E. urophylla</i> COP 1404		43,0	24,9	9,3	69,2	9,7
	CV %	5,3	13,0	12,7	14,1	22,0
	<i>k</i>	43,2	23,3	8,3	-	-
	<i>N</i>	15	15	24	6	6
<i>E. cloeziana</i>		44,4	11897,4	8,1	81,5	14411,7
	CV %	10,70	24,48	11,80	20,10	24,33
	<i>k</i>	40,46	9152,60	7,38	64,55	9152,60
	<i>N</i>	19	19	12	17	17

NOTA: : número de corpos de prova; : média; : coeficiente de variação; : valor característico; : resistência à compressão paralela às fibras; : módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras; : resistência à flexão; : módulo de elasticidade na flexão; : resistência ao cisalhamento paralelo às fibras

Fonte: (Autores).



Para a madeira de *E. pellita*, WoodSolutions (2018) e Ironwood (2019)

estudaram madeiras com 8,5 anos de idade e encontraram que resistência média à compressão paralela às fibras igual à 52 MPa e 50 MPa, respectivamente. Nascimento *et al.* (2012) e Bailleres *et al.* (2008) encontraram a resistência média em cerca de 63 MPa para madeira de *E. pellita* com 17 anos e 15 anos de idade, respectivamente. Em comparação com os valores encontrados na literatura, os resultados mostram que a madeira jovem de *E. pellita* tem resistência à compressão paralela às fibras cerca de 20% do que em idades adultas.

Já para a madeira de *E. urophylla*, Veiga *et al.* (2018) encontraram resistência igual a 55,0 MPa para árvores com 7 anos de idade, Lahr *et al.* (2017) encontraram 46,0 MPa para madeira de 10 anos, mostrando que para esta espécie, quando jovem, as características anatômicas impossibilitam resultado preciso quanto sua resistência mecânica à compressão. Bailleres *et al.* (2008) afirmam que para espécies de eucalipto, as características anatômicas e, conseqüentemente mecânicas, costumam estabilizar em torno de 20 anos de idade, sendo essa variabilidade mais relevante em algumas espécies que outras.

Para ambas as espécies, o valor de módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras foi considerado baixo para madeiras dicotiledôneas. Hein e Lima (2012) encontraram baixos valores de rigidez para espécies de eucalipto jovem, para os autores, a inclinação das microfibrilas presente em madeira juvenil tem forte correlação com a rigidez da madeira, enquanto tem baixa influência na resistência compressão paralela às fibras, explicando a baixa rigidez enquanto a resistência foi considerada satisfatória.

O valor encontrado para cisalhamento foi próximo do esperado para espécies adultas do gênero *Eucalyptus spp.* presentes em outros estudos: Matos e Molina (2016) encontraram resistência média ao cisalhamento de 12,98 MPa para a madeira de *Eucalyptus saligna*; Lahr *et al.* (2018) e Nogueira *et al.* (2019) pesquisaram madeiras de *E. grandis* e *E. umbra*, respectivamente, e encontraram valores de resistência ao cisalhamento de 11,6 MPa para *E. grandis* e 15,9 MPa para *E. umbra*. As espécies encontradas na bibliografia possuem densidade aparente na umidade de referência (12%) entre 630 kg/m³ e 740 kg/m³, sendo valores próximos aos valores de densidade aparente encontrados no estudo.



4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

- a) As espécies avaliadas tiveram comportamento divergente em relação a sua retração no sentido tangencial, do qual tende a ser duas vezes maior que o radial. Para este trabalho, os valores estiveram de retração tangencial e radial não foram significativamente diferentes entre si;
- b) As madeiras estudadas registraram boa estabilidade dimensional quando comparada com demais espécies de eucalipto, indicando baixa propensão de defeitos durante a secagem;
- c) As espécies estudadas tiveram propriedades mecânicas de resistência compatíveis com as de madeiras adultas, de acordo com a literatura. Por outro lado, a rigidez na compressão foi considerada baixa para madeiras dicotiledôneas, devido à presença de madeira juvenil;
- d) Apesar da presença elevada de lenho juvenil, as espécies estudadas neste trabalho se mostraram com características físicas e mecânicas compatíveis para diversos usos estruturais da construção civil.

5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.

_____. **NBR 7190-3**: Projeto de estruturas de madeira – Parte 3: Métodos de ensaio para corpos de provas isentos de defeitos para madeiras de florestas nativas. Rio de Janeiro, 2022.

ALVES, R.; OLIVEIRA, A.; CARRASCO, E. Propriedades físicas da madeira de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. **Floresta e Ambiente**, v. 24, e00015312, 2017.

BATISTA, D.; KLITZKE, R.; SANTOS, C. Densidade básica e retrabilidade da madeira de clones de três espécies de *Eucalyptus* spp. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 4, p. 665–674, 2010.

BAILLERES H.; HOPEWELL G.; MCGAVIN R. Evaluation of wood characteristics of tropical post-mid rotation plantation of *Eucalyptus cloeziana* and *E. pellita*: Wood quality and structural properties. Forest & Wood Products Australia, 2008.

CALIL JR, C.; LAHR, F.; DIAS, A. **Dimensionamento de elementos estruturais de madeira**. Barueri, SP: Manole. 2003.

EVANGELISTA, W.; SILVA, J.; LUCIA, R. *et al.* Propriedades físico-mecânicas da madeira de *Eucalyptus Arophylla* S. T. Blake no sentido radial e longitudinal. **Revista Ciência da Madeira**, v. 4, n. 2, p. 1–19, 2010.

FOREST PRODUCTS LABORATORY – FPL. **Wood Handbook**: Wood as an Engineering Material. General Technical Report FPL-GTR-282. Madison, WI: US

Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2021.

GARCIA, R.; OLIVEIRA, N.; NASCIMENTO, A.; SOUZA, N. Colorimetria de madeiras dos gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia* e sua correlação com a densidade. **Cerne**, v. 20, n. 4, p. 509–517, 2014.

HEIN, P.; LIMA, J. Relationships between microfibril angle, modulus of elasticity and compressive strength in *Eucalyptus* wood. **Maderas: Ciencia y Tecnologia**, v. 14, n. 3, p. 267–274, 2012.

IRONWOOD AUSTRALIA. **Red Mahogany (*Eucalyptus pellita*) technical specifications**. St. Peters. 2019. Disponível em: <https://ironwood.com.au/red-mahogany-technical-specifications/>

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Relatório Anual IBÁ**. Publicações IBÁ, São Paulo, 2023.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. **Madeira: Uso sustentável na construção civil**. 2. ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2009.

LAHR, F.; NOGUEIRA, M.; ARAUJO, V. *et al.* Wood utilization of *Eucalyptus grandis* in structural elements: Densities and mechanical properties. **Engenharia Agrícola**, v. 38, n. 5, p. 642–647, 2018.

LOPES, C.; NOLASCO, A.; TOMAZELLO FILHO, M., *et al.* Estudo da massa específica básica e da variação dimensional da madeira de três espécies de eucalipto para a indústria moveleira. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 2, p. 315–322, 2011.

MATOS, S.; MOLINA, J. Resistência da madeira ao cisalhamento paralelo às fibras segundo as normas ABNT NBR 7190 e ISO 13910. **Revista Matéria**, v. 21, p. 1069–1079, 2016.

NASCIMENTO, A.; XAVIER, C.; SILVA, M.; NASCIMENTO, L. Resistências à compressão e ao embutimento e densidade das madeiras de *Comrymbia citriodora*, *Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus paniculata*. In: XIII EBRAMEM - Encontro Brasileiro de Madeiras e Estruturas em Madeira, Vitória, **Anais[...]**, 2012.

NOGUEIRA, M.; ARAUJO, V.; VASCONCELOS, J. *et al.* Propriedades físico-mecânicas da madeira de *Eucalyptus alba* para construção civil. **Revista Ciência da Madeira**, v. 10, n. 1, p. 71–77, 2019.

NUNES, C.; NASCIMENTO, A.; GARCIA, R.; LELIS, R. Qualidade de adesão das madeiras de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus pellita* tratadas termicamente. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, v. 44, n. 109, p. 41–56, 2016.

OLIVEIRA, J.; TOMAZELLO FILHO, M.; FRIEDLER, N. Avaliação da retrabilidade da madeira de sete espécies de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, v. 34, n. 5, p. 929–936, 2010.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO – SNIF. **Boletim do Sistema Nacional de Informações Florestais**. 37p. Ministério do Meio Ambiente, Brasília. 2019.

SILVA, J.; VIDAURRE, G.; BALLARIN, A. *et al.* Demarcação e propriedades dos lenhos juvenil e adulto de eucalipto. In: VIDAURRE, G.; SILVA, J.; Moulín, J.; Carneiro, A. Qualidade da madeira de eucalipto proveniente de plantações no Brasil. Vitória: Editora EDUFES, 2021.

WOODSOLUTIONS. **Red Mahogany properties.** Melbourne. 2019. Disponível em:
<https://www.woodsolutions.com.au/wood-species/mahogany-red>