



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

**EMILLY SOARES GOMES DA SILVA**

**PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DA MADEIRA JOVEM DE ANGICO-  
VERMELHO E SUA EFICIÊNCIA EM JUNTAS COLADAS**

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2021

EMILLY SOARES GOMES DA SILVA

**PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DA MADEIRA JOVEM DE ANGICO-  
VERMELHO E SUA EFICIÊNCIA EM JUNTAS COLADAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.  
Orientador: Fabricio Gomes Gonçalves  
Coorientador: Paulo André Trazzi

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2021

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

---

S586p Silva, Emilly Soares Gomes da, 1995-  
Propriedades tecnológicas da madeira jovem de angico vermelho e sua eficiência em juntas coladas / Emilly Soares Gomes da Silva. - 2021.  
97 f. : il.

Orientador: Fabricio Gomes Gonçalves.

Coorientador: Paulo André Trazzi.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Madeira. 2. Anadenanthera peregrina. 3. Propriedades mecânicas. 4. Propriedades físicas. 5. Adesivo. 6. Madeira colada. I. Gonçalves, Fabricio Gomes. II. Trazzi, Paulo André. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. IV. Título.

CDU: 630

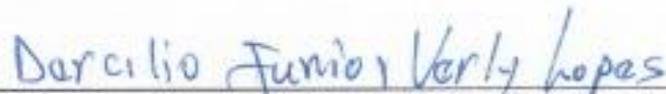
---

**PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DA MADEIRA JOVEM DE ANGICO  
VERMELHO E SUA EFICIÊNCIA EM JUNTAS COLADAS**

**Émilly Soares Gomes da Silva**

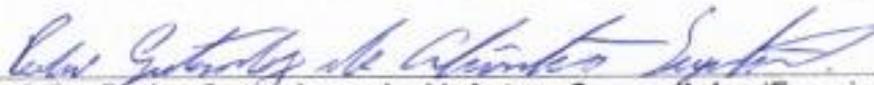
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

Aprovada em 23 de fevereiro de 2021.



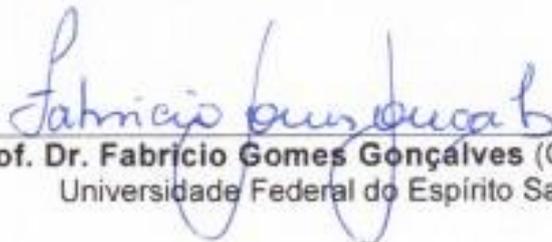
---

**Prof. Dr. Dercilio Junior Verly Lopes** (Examinador externo)  
Mississippi State University



---

**Prof. Dr. Pedro Gutemberg de Alcântara Segundinho** (Examinador interno)  
Universidade Federal do Espírito Santo



---

**Prof. Dr. Fabricio Gomes Gonçalves** (Orientador)  
Universidade Federal do Espírito Santo

*Ao meu bondoso Deus, a minha mãe Maria dos Reis, as minhas irmãs Kinddoly Soares e Josiane Soares, e aos meus sobrinhos Gabriel, Erik e Marlus, dedico.*

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, agradeço a Deus pelo dom da vida e por ter me proporcionado chegar até aqui, abençoando toda a minha jornada.

À Universidade Federal do Espírito Santo e, especialmente, ao Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais pela oportunidade e estrutura durante o mestrado que me proporcionaram conhecimento prático e teórico.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

Ao meu orientador Fabricio Gomes Gonçalves, pela confiança, receptividade, compreensão, suporte, parceria e conhecimentos compartilhados que contribuíram diretamente no meu crescimento pessoal e profissional. A ele minha gratidão, respeito e admiração.

Ao meu coorientador Paulo André Trazzi, pelo convívio, conselhos e ensinamentos que contribuíram e contribuem nas minhas conquistas. Gratidão pela nossa amizade e pelos momentos em que caminhou ao meu lado.

Aos professores Juarez Benigno Paes, Pedro Gutemberg de Alcântara Segundinho e João Gabriel Missia por todo respeito e ensinamentos compartilhados.

Aos membros da banca, os professores Dercílio Verly e Pedro Gutemberg que aceitaram participar, trocando informações e agregando valor ao trabalho.

A Izabella Luzia Silva Chaves e Alice Soares Brito por todo companheirismo, disposição, amizade, paciência e suporte ao longo desses dois anos no mestrado.

Ao professor Wendel Sandro por ter estado ao meu lado em todos os momentos, me acolhendo, me apoiando e me aproximando ainda mais de Deus.

Aos que são família de coração, Tawanna Neres, Ana Clara Pardim, Paula de Souza, Antônio Eduardo, Karol Moreira, Maria Durães, Filipe Oliveira e Thainá Alves que sempre estiveram presentes, mesmo que não fisicamente, e que participaram dessa caminhada me erguendo e me dando forças para caminhar ainda mais longe. Obrigada por proporcionarem tantas alegrias em minha vida.

Aos melhores vizinhos e amigos que fiz durante esses anos, Jéssica Tetzner, Marcelo Zatta e Robert Gomes. Espero ter o privilégio de poder reencontrá-los.

E por fim, agradeço a todos que de forma direta ou indireta, contribuíram para a conclusão deste trabalho.

## RESUMO GERAL

SILVA, Emilly Soares Gomes. **Propriedades tecnológicas da madeira jovem de angico-vermelho e sua eficiência em juntas coladas**. 2021. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Orientador: Prof. D.Sc. Fabricio Gomes Gonçalves. Coorientador: Prof. D.Sc. Paulo André Trazzi.

O objetivo do estudo foi caracterizar as propriedades físicas e mecânicas da madeira jovem de angico-vermelho e avaliar o desempenho da espécie na colagem de taliscas com diferentes adesivos comerciais. A caracterização das propriedades da madeira foi efetuada em árvores desbastadas oriundas dos espaçamentos 3 m x 3 m, 4 m x 4 m e 5 m x 5 m. As propriedades físicas foram determinadas quanto à densidade básica, retratibilidade linear e volumétrica, e grau de colapso da madeira no sentido base-topo e medula-casca. As propriedades mecânicas foram determinadas de acordo a resistência ao cisalhamento, resistência à compressão paralela e perpendicular às fibras, resistência à flexão estática e dureza Janka. Para a colagem da madeira, utilizou-se os adesivos ureia-formaldeído, poliacetato de vinila, resorcinol-formaldeído e tanino ureia-formaldeído na proporção 20:80 (tanino:ureia) que foram caracterizados, e em seguida, colados nas gramaturas de 200, 250, 300 e 350 g m<sup>-2</sup>. As juntas coladas foram prensadas à temperatura ambiente e ensaiadas para determinação da resistência ao cisalhamento na linha de cola. Foram determinados a porcentagem de falhas e a química da madeira no intuito de avaliar a interação da madeira com os adesivos. Os resultados demonstram que as propriedades físico-mecânicas do angico-vermelho foram superiores em madeiras provenientes dos dois maiores espaçamentos, apresentando melhor resistência e rigidez. As tendências significativas verificadas no sentido medula-casca evidenciam uma instabilidade da madeira mais próximo da medula devido a maior proporção de lenho juvenil, sendo recomendado a exploração da madeira nas regiões mais periféricas da tora. De maneira geral, o espaçamento de plantio e o desbaste não afetaram negativamente a qualidade da madeira de angico-vermelho. Em relação a eficiência da colagem, observou-se que não houve uma adesão satisfatória entre a madeira e os diferentes adesivos colados nas diferentes gramaturas. Os valores médios de resistência ao cisalhamento na linha de cola estiveram abaixo do que é recomendado para uso comercial. O teor de extrativos e a densidade da madeira associadas a viscosidade

dos adesivos promoveram uma interligação insuficiente, gerando peças coladas de qualidade inferior. A porcentagem de falha ficou abaixo dos 60% recomendados, reforçando os dados observados para resistência que indicaram a baixa qualidade das juntas coladas.

**Palavras-chave:** *Anadenanthera peregrina*, desbaste, propriedades mecânicas, propriedades físicas, madeira colada.

## GENERAL ABSTRACT

SILVA, Emilly Soares Gomes. **Technological properties of young red-angico wood and its efficiency in glued joints**. 2021. Dissertation (Master's degree in Forest Sciences) – Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Advisor: Prof. D. Sc. Fabricio Gomes Gonçalves. Co-advisor: Prof. D. Sc. Paulo André Trazzi.

The objective of the study was to characterize the physical and mechanical properties of young wood of red-angico and to evaluate the performance of the species in the bonding of pieces with different commercial adhesives. The characterization of the properties of the wood was carried out on thinned trees from the 3 m × 3 m, 4 m × 4 m e 5 m × 5 m spacing. The physical properties were determined in terms of basic density, linear and volumetric retractability, and degree of collapse of the wood in the base-top and pith-bark directions. The mechanical properties were determined according to the shear strength, resistance to parallel and perpendicular compression to the fibers, resistance to static bending and Janka hardness. For wood bonding, the adhesives urea-formaldehyde, vinyl polyacetate, resorcinol-formaldehyde and tannin urea-formaldehyde in the proportion 20:80 (tannin:urea) were used, which were characterized, and then glued in the weights of 200, 250, 300 and 350 g m<sup>-2</sup>. The glued joints were pressed at environmental temperature and tested to determine the shear strength in the glue line. The percentage of flaws and wood chemistry were determined in order to assess the interaction of wood with adhesives. The results demonstrate that the physical-mechanical properties of the red-angico were superior in wood from the two largest spacings, presenting better resistance and rigidity. The significant trends observed in the pith-bark direction checked an instability of the wood closer to the pith due to a higher proportion of juvenile wood, and it is recommended to exploration the wood in the most peripheral regions of the log. Generally speaking, plantig spacing and thinning did not negatively affect the quality of red-angico wood. In relation the gluing efficiency, it was observed that there was not a satisfactory adhesion between the wood and the different adhesives glued in the different weights. The average values of shear strength in the glue line were below what is recommended for commercial use. The content of extractives and the density of the wood associated with the viscosity of the of the adhesives promoted an insufficient interconnection, generating glued pieces of inferior quality. The failure percentage was below the recommended

60%, reinforcing the observed data for resistance, which indicated the low quality of the glued joints.

**Keywords:** *Anadenanthera peregrina*, thinning, mechanical properties, physical properties, wood glued.

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO GERAL.....</b>   | <b>13</b> |
| <b>2. OBJETIVO GERAL.....</b>   | <b>15</b> |
| <b>3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>  | <b>15</b> |
| <b>4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>   | <b>16</b> |
| <b>5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>  | <b>17</b> |
| 5.1 <i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speg.....   | 17        |
| 5.2 Propriedades tecnológicas da madeira.....   | 18        |
| 5.2.1 Propriedades físicas.....   | 18        |
| 5.2.2 Propriedades mecânicas.....   | 19        |
| 5.2.3 Propriedades químicas.....  | 20        |
| 5.3 Tratamento silvicultural.....   | 21        |
| 5.3.1 Espaçamento de plantio.....   | 22        |
| 5.3.2 Desbaste ou raleio.....   | 23        |
| 5.4 Aspectos gerais da colagem da madeira.....  | 24        |
| 5.5. Adesivos para colagem de madeiras.....   | 26        |
| <b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>   | <b>29</b> |
| <b>CAPÍTULO I - PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DA MADEIRA JOVEM DE</b><br><b><i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speg. PROVENIENTES DE DESBASTE.....</b> | <b>39</b> |
| <b>1. INTRODUÇÃO.....</b>   | <b>41</b> |
| <b>2. METODOLOGIA.....</b>  | <b>43</b> |
| 2.1 Material experimental e local de amostragem.....  | 43        |
| 2.2 Determinação das propriedades físicas.....  | 45        |
| 2.3 Determinação das propriedades mecânicas.....  | 46        |
| 2.4 Análise estatística dos dados.....  | 47        |
| <b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>   | <b>49</b> |
| 3.1 Propriedades físicas da madeira.....  | 49        |
| 3.2 Propriedades mecânicas da madeira.....  | 58        |
| <b>4. CONCLUSÕES.....</b>   | <b>61</b> |
| <b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>   | <b>62</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>CAPÍTULO II - EFICIÊNCIA DA COLAGEM EM MADEIRA JOVEM DE ANGICO-VERMELHO (<i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speg.)</b> ..... | <b>66</b> |
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....   | <b>68</b> |
| <b>2. METODOLOGIA</b> .....  | <b>69</b> |
| 2.1 Preparo do material para colagem .....   | 69        |
| 2.2 Caracterização dos adesivos e colagem das taliscas .....   | 69        |
| 2.3 Ensaio de resistência ao cisalhamento na linha de cola .....   | 71        |
| 2.4 Caracterização química da madeira.....   | 72        |
| 2.5 Análise estatística dos dados.....   | 73        |
| <b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....   | <b>74</b> |
| 3.1 Características dos adesivos .....   | 74        |
| 3.3 Ensaio de resistência ao cisalhamento em peças coladas .....   | 78        |
| 3.4 Avaliação da falha na madeira .....  | 83        |
| <b>4. CONCLUSÕES</b> .....   | <b>85</b> |
| <b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....   | <b>86</b> |
| <b>6. CONCLUSÃO GERAL</b> .....  | <b>90</b> |

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A indústria de base florestal tem desempenhado um importante papel na economia, contribuindo para produção de bens e serviços, agregando valor aos produtos florestais, bem como a geração de empregos, divisas, tributos e rendas (VALVERDE et al., 2012). Esse desempenho é resultado de processos silviculturais tais como espaçamento de plantio e desbaste, que influenciam no desenvolvimento das árvores e na qualidade da matéria-prima.

Estudos encontrados na literatura como os de Trevisan et al. (2013), Sereghetti et al. (2015) e Moulin et al. (2017) por exemplo, abordam sobre os efeitos das práticas silviculturais nas propriedades tecnológicas da madeira. Estas fundamentais discussões permitem melhor entendimento sobre a variabilidade do material, contribuindo para um melhor controle da qualidade da madeira de acordo com seu uso final.

O espaçamento de plantio é uma prática que influencia na taxa de crescimento das árvores e que contribui no desenvolvimento adequado das mesmas com a melhor qualidade possível e o menor custo, sendo definida de acordo o uso final da madeira e de critérios ambientais e econômicos (MOULIN et al., 2020).

O desbaste é uma técnica que visa reduzir a competição entre as árvores melhorando a distribuição espacial dos indivíduos, o que reflete na produção de árvores de grande porte e de qualidade desejável (NOGUEIRA, 2003; OLIVEIRA et al., 2012). Ambas as técnicas silviculturais quando aplicadas corretamente ampliam a chance de melhor desenvolvimento da floresta e garante a manutenção das propriedades da madeira, agregando valor a matéria-prima.

A *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg (angico-vermelho) é uma espécie de âmbito promissor no setor silvicultural e madeireiro. É reconhecida por se adaptar a diferentes ambientes e apresentar madeiras com boa resistência mecânica quando adultas, sendo indicada para produção de móveis, adesivos, para fins energéticos e curtimento de couro (BERLOFFA et al., 2015).

No entanto, apesar da sua importância silvicultural e madeireira, são necessárias mais discussões sobre as propriedades de sua madeira e a influência de determinados tratamentos silviculturais em suas características, principalmente se relacionado ao material ainda jovem, sendo as características físico-mecânicas as de maior interesse industrial e mais afetadas por determinadas práticas silviculturais. Isso

compromete a resistência e rigidez da madeira limitando a exploração do material em diferentes segmentos.

Muitos produtos confeccionados que tem como matéria-prima a madeira, exigem bom desempenho das suas propriedades, o que torna o mercado altamente competitivo com o aumento de demanda por madeira. Entretanto, devido ao consumo excessivo desse material, técnicas são aplicadas como forma de minimizar a escassez de madeira, sendo a colagem um dos procedimentos já consolidados pela indústria, que visa o melhor aproveitamento do material, agregando valor aos produtos gerados.

De acordo com Mendonza et al. (2017), a colagem é uma técnica complexa e envolve diversas variáveis, tais como características da madeira e propriedades do adesivo utilizado, sendo um procedimento que permite o manejo das propriedades estruturais da madeira conforme a finalidade da peça, contribuindo para melhor aproveitamento do material.

## 2. OBJETIVO GERAL

Nesta pesquisa, o objetivo foi caracterizar as propriedades físicas e mecânicas da madeira jovem de angico-vermelho e avaliar o desempenho da espécie na colagem de taliscas, visando o melhor aproveitamento da madeira da espécie no setor madeireiro e sua inserção na indústria de juntas coladas.

## 3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Foram objetivos específicos deste trabalho o estudo em dois capítulos:

Capítulo I: Propriedades físico-mecânicas da madeira jovem de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg. provenientes de desbaste.

- Determinar a densidade básica, as contrações lineares e volumétrica e o colapso da madeira jovem de angico-vermelho.
- Comparar o comportamento das propriedades físicas da madeira no sentido medula-casca e base-topo nos diferentes espaçamentos.
- Avaliar a resistência à compressão paralela às fibras, resistência à compressão perpendicular as fibras, resistência ao cisalhamento, resistência a flexão estática (módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR)) e dureza Janka da madeira.
- Comparar as propriedades mecânicas da madeira entre os diferentes espaçamentos.

Capítulo II: Eficiência da colagem em madeira jovem de angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina* (L.) Speg.).

- Caracterizar as propriedades dos adesivos selecionados para colagem.
- Determinar a resistência ao cisalhamento na linha de cola e a falha na madeira colada com quatro tipos de adesivos e em quatro gramaturas.
- Caracterizar as propriedades químicas da madeira e avaliar sua influência no desempenho da colagem.
- Verificar se a madeira de angico-vermelho é apta para uso na indústria de juntas coladas.

#### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERLOFFA, J.M.; GRAICHEN, F.A.S.; FERNANDES, F.M.; SILVA, A.R.D. Qualidade fisiológica e sanitária de semente de angico-vermelho sobre o crescimento inicial das plântulas. **Revista de Ciências Agroambientais**, v. 13, n. 2, p. 78-86, 2015.

MENDONZA, Z.M.S.H.; BORGES, P.H.M.; RIBEIRO, A.S.; FERNANDES, F.B. Aspectos gerais sobre adesivos para madeira. **Multitemas**, v. 22, n. 51, p. 49-68, 2017. Doi: <http://dx.doi.org/10.20435/multi.v22i51.1412>

MOULIN, J.C.; ARANTES, M.D.A.; OLIVEIRA, J.G.L.; CAMPINHOS, E.; GOMES, F.; VIDAURRE, G.B. Efeito do espaçamento, idade e irrigação no volume e densidade básica do eucalipto. **Floram**, p. 1-10, 2017. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.073914>

MOULIN, J.C.; SILVA, S.R.; NUTTO, L.; VIDAURRE, G.B. Influência do espaçamento de plantio nas propriedades da madeira de eucalipto. In: VIDAURRE, G.B.; SILVA, J.G.M.; MOULIN, J.C.; CARNEIRO, A.C.O (Orgs.). **Qualidade da madeira de eucalipto proveniente de plantações no Brasil**. Vitória: EDUFES, 2020, p. 171-195.

NOGUEIRA, G. S. **Modelagem do crescimento e da produção de povoamentos de *Eucalyptus* sp. e de *Tectona grandis* submetidos a desbaste**. 132f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

OLIVEIRA, A.C.; ROCHA, M.F.V.; PEREIRA, B.L.C.; CARNEIRO, A.C.O.; CARVALHO, A.M.M.L.; VITAL, B.R. Avaliação de diferentes níveis de desbastes nas propriedades da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **Floresta**, v. 42, n. 1, p. 59-68, 2012. Doi: <http://dx.doi.org/10.5380/uf.v42i1.26297>

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. Doi: <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2015v30n3p257-262>

TREVISAN, R.; SOUZA, J.T.; DENARDI, L.; HASELEIN, C.R.; SANTINI, E.J. Efeito do desbaste no comprimento das fibras da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 2, p. 463-475, 2013. Doi: <https://doi.org/10.5902/198050989290>

VALVERDE, S.R.; MAFRA, J.W.A.; MIRANDA, M.A.; SOUZA, C.S.; VASCONCELOS, D.C. **Silvicultura brasileira – oportunidades e desafios da economia verde**. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável – FBDS, 40 p. 2012. Disponível em: <<http://www.fbds.org.br/IMG/pdf/doc-29.pdf>>. Acesso em: 29 jan. 2021.

## 5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 5.1 *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg.

A espécie *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg. pertencente à família Fabaceae e subfamília Mimosoideae, é popularmente conhecida como angico, fava angico ou angico-vermelho (GALVÃO et al., 2014). O gênero *Anadenanthera* é endêmico da América Latina e do Caribe, entretanto, suas variedades de espécies estão inseridas em outras localidades, como é o caso da *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg., que possui ocorrência no Brasil, Guiana, Colômbia, Venezuela e nas Antilhas (FERES, 2013).

No Brasil, a espécie é encontrada em matas semidecíduas, sendo a sua madeira caracterizada por ser densa, dura e de textura média, com ocorrência natural nos estados de Tocantins, Goiás, Bahia, Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul (LORENZI, 2009; OLIVEIRA, 2017).

*A. peregrina* (L.) Speg., é uma espécie que se adapta a diferentes ambientes, e suas árvores quando adultas podem atingir alturas entre 14 a 22 metros, sendo o tronco das suas árvores caracterizado por ser curto, não muito cilíndrico, e que pode variar entre 40 a 80 centímetros de diâmetro (LORENZI, 2002).

Em relação a madeira adulta da *A. peregrina* (L.) Speg., a espécie possui cerne resistente, duro ao corte, durável sob condições naturais, além de apresentar excelentes condições para adesão, aceitando acabamentos com tintas e vernizes (SOUZA, 2018; VALENTE et al. 2013.). Portanto, essas características viabilizam sua utilização na construção civil, indústria moveleira e indústria de painéis.

A espécie também é utilizada para fins energéticos, curtimento de couro e produção de adesivos (MORI et al., 2003; OLIVEIRA, 2017), por meio da presença de taninos, um potencial substituto dos adesivos sintéticos existentes no mercado. Esse potencial é devido à sua viscosidade, considerada como adequada para aplicação em painéis aglomerados, baixo percentual de formaldeído na sua composição e menor custo de produção, visto que são produzidos a partir de cascas, que é um resíduo geralmente descartado pelas madeireiras (CARNEIRO et al., 2009).

## **5.2 Propriedades tecnológicas da madeira**

Desde o começo da civilização, a madeira tem sido cada vez mais explorada como material estrutural devido suas propriedades, essas, que quando comparadas as propriedades dos demais materiais utilizados para fins estruturais como o aço e o concreto, apresentam a vantagem de ser resistente, leve e de natureza renovável, diferindo suas características de acordo com a espécie, origem e até mesmo dentro da mesma árvore (RACERO et al., 2015).

Por ser um elemento biológico, heterogêneo e complexo, suas características apresentam variabilidade, sendo necessário o conhecimento das propriedades tecnológicas da madeira para definição do seu uso. Essas propriedades abrangem características físicas, mecânicas e químicas que variam conforme a anatomia da madeira, e por meio destas, é possível promover a empregabilidade do material de forma econômica e segura (OLIVEIRA, 2007; GONÇALVES; LELIS, 2012; FRANÇA et al., 2015).

### **5.2.1 Propriedades físicas**

As propriedades físicas são características quantitativas da madeira que abrangem o comportamento do material às influências externas, exceto forças aplicadas (JAMALA et al., 2013). Dentre as características, a densidade básica e a retratibilidade são bastante discutidas, sendo a primeira considerada como a mais importante por ser um dos principais parâmetros da qualidade da madeira e que se correlaciona com as demais propriedades do material (MELO et al., 2013).

A retratibilidade da madeira é o fenômeno das variações dimensionais quando há alteração no teor de umidade, gerando uma absorção e inchamento da madeira na medida em que ocorre mudanças na umidade relativa do ar (CHINIFORUSH et al., 2019).

Esse fenômeno é dependente do modo em que a secagem é realizada e do comportamento da madeira, levando a alterações dimensionais que podem culminar em possíveis defeitos, como empenamento rachaduras, e fendas, tornando-se uma característica de importante estudo no intuito de minimizar aspectos negativos que afetem as propriedades do material (OLIVEIRA et al., 2010).

O colapso também é um fenômeno que deve ser levado em consideração por apresentar influência sobre a qualidade da madeira. Segundo Yang & Liu (2018), esse fenômeno é resultante de uma distorção ou esmagamento de células da madeira durante a fase inicial do processo de secagem, sendo responsável por induzir a tensão superficial líquida dentro do material, podendo exceder a resistência à compressão da parede celular, comprometendo as propriedades mecânicas da madeira.

Para que seja evitado a incidência de determinados fenômenos na madeira, práticas devem ser adotadas no intuito de minimizar os danos ao material quando sujeito a processos que visam prolongar sua vida útil. Guedes e Magossi (2013) mencionam que a adoção de diferentes tempos e técnicas de controle no processo de secagem da madeira podem corrigir possíveis irregularidades e ou defeitos, como por exemplo em estufas automáticas.

Além disso, a pré-secagem ao ar livre também é indicada, tendo esse processo a finalidade de remover maior quantidade de água livre possível da madeira, o que é benéfico para redução de defeitos quando o material for submetido a secagem convencional (PONCE; WATAI, 1985<sup>1</sup> citado por ZEN, 2016).

### **5.2.2 Propriedades mecânicas**

As propriedades mecânicas da madeira são atribuídas às características anisotrópicas do material, em que as diferentes tensões aplicadas, nos diferentes planos de orientação (axial, radial e tangencial), promovem a distinção em seus sentidos (MIYOSHI et al., 2018). Essa propriedade varia de acordo com as orientações das fibras da madeira, sendo de comum avaliação a resistência à compressão paralela às fibras, resistência à compressão perpendicular as fibras, resistência ao cisalhamento, resistência a tração e resistência a flexão estática que compreende o módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) da madeira.

O MOE e o MOR, são considerados como os principais parâmetros de avaliação da madeira para uso estrutural, onde o MOE indica a rigidez do material por meio da mensuração da deformação elástica da madeira, e o MOR indica a resistência à ruptura do material, sendo ambos determinados através da aplicação de uma carga (SCHIMLECK et al., 2018).

---

<sup>1</sup> PONCE, R.H.; WATAI, L.T. **Manual de secagem da madeira**. Brasília, DF: IPT/STI, 1985. 72 p.

A dureza Janka também é utilizada para caracterização mecânica da madeira, sendo um dos testes mais aplicados na indústria madeireira para determinação e classificação de cada espécie de madeira. Essa dureza é determinada por meio da penetração de um corpo sólido, no caso, a metade de uma esfera de aço (1 cm<sup>2</sup> de diâmetro) que indica a capacidade do material em resistir a deformações (CALONEGO et al., 2017).

Esses ensaios são padronizados por premissas definidas, sendo aplicadas por meio de critérios estabelecidos pela Norma Brasileira Regulamentadora - NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 1997). As normas internacionais também têm sido utilizadas no Brasil para análise das propriedades mecânicas, e são prescritas pelas associações *Comisión Panamericana de Normas Técnicas* (COPANT), *International Standardization Organization* (ISO) (CALEGARI et al., 2013), *Eurocode* (EN) e *American Society for Testing and Materials* (ASTM), sendo essa última uma das mais utilizadas a nível de pesquisa.

### **5.2.3 Propriedades químicas**

A composição química do lenho está atribuída a estrutura anatômica do material, sendo seus constituintes classificados como substâncias de baixo peso molecular e macromoleculares. Os constituintes macromoleculares são considerados de maior relevância devido a seus elementos, sendo subdivididos em dois grandes grupos denominados como componentes fundamentais e componentes acidentais (KLOCK; ANDRADE, 2013).

Os componentes fundamentais são constituídos pela celulose, lignina e hemicelulose que são responsáveis pela formação morfológica e estrutural da madeira. A celulose integra a parede celular da madeira, e é o elemento majoritário tanto nas coníferas quanto nas folhosas, variando de 40% a 50% na composição do material, sendo o componente que fornece suporte, resistência e rigidez aos organismos vegetais (KLOCK; ANDRADE, 2013).

A hemicelulose é um importante constituinte que apresenta interação com a celulose e a lignina, sendo um elemento desejável para alguns processos industriais como é o caso da polpação, devido suas propriedades de resistência à tração e ao arrebatamento, promovendo um rendimento no processo (TOUCINI, 2013; PUPO, 2019).

A lignina é um elemento encontrado principalmente na lamela média, com menores proporções na parede secundária e nos traqueídeos, tendo função adesiva entre as fibras. Essa característica confere à parede celular um aumento da sua rigidez e uma maior proteção da madeira contra micro-organismos, sendo essa proteção resultante da redução da permeabilidade da parede celular (D'ALMEIDA, 1988<sup>2</sup> citado por WILLFÖR et al., 2006; ZANUNCIO; COLODETTE, 2011).

Os extrativos e cinzas são substâncias que não compõem a parede celular ou lamela média, sendo caracterizados por apresentar baixa e média massa molar, grupos orgânicos (extrativos) e inorgânicos (cinzas) (FERREIRA et al., 2015), como os taninos. Esses constituintes apresentam influência na resistência ao ataque de agentes deterioradores e nas propriedades organolépticas e abrasivas da madeira, sendo os extrativos considerados os mais importantes por atuarem como componentes complementares, apresentando variabilidade em sua quantidade e composição (MENEZES, 2017).

Embora sejam componentes significantes que aumentam a durabilidade natural da madeira, os extrativos exercem influência em determinados processos industriais, dificultando o processamento a partir do empastamento das ferramentas de corte, interferindo na colagem e na aplicação de acabamentos superficiais, podendo ser considerados como indicadores de conformidade da madeira para esses processos (PANSIN & DE ZEEW 1980; FONTE et al., 2017).

### 5.3 Tratamento silvicultural

Apesar da importância de se abordar e determinar as propriedades tecnológicas da madeira, é importante destacar que os processos iniciais para obtenção do material devem ser discutidos, uma vez que as características do crescimento da árvore têm impacto significativo em sua qualidade. As práticas florestais são aplicadas desde o início do plantio, estando entre os procedimentos mais cruciais, os tratamentos silviculturais.

O trato silvicultural garante um aumento das taxas de crescimento das espécies arbóreas, contribuindo para o gerenciamento das florestas para uma produção

---

<sup>2</sup> D'ALMEIDA, M. L. O. Composição química dos materiais lignocelulósicos. In: **Celulose e papel: Tecnologia de fabricação da pasta celulósica**. 2. ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1988. v. 1, p. 45–106.

sustentável da madeira, tendo como base para essa técnica o manejo florestal que é essencial para a manutenção dos ecossistemas e desenvolvimento das árvores, gerando uma maior produtividade e qualidade da madeira (LEWIS et al., 2010).

Dentre as práticas silviculturais utilizadas em um programa de manejo, estão inseridos o preparo do solo, adubação, desbaste, desrama, e sobretudo, o espaçamento inicial de plantio (GOULART et al., 2003; SILVA, 2015). O espaçamento de plantio, desbaste e/ou intensidade da poda, por exemplo, são práticas que podem influenciar nas propriedades da madeira, o que é refletido no seu valor comercial.

Apesar das práticas silviculturais serem relevantes para a qualidade da madeira, é importante que algumas técnicas sejam abordadas com mais frequência, pois apresentam potencial de pesquisa, o que amplia as chances de melhores resultados, contribuindo para a maximização e manutenção das propriedades desse material (HART, 2010).

### **5.3.1 Espaçamento de plantio**

O espaçamento é uma ferramenta silvicultural que disponibiliza determinada distância entre as árvores promovendo o desenvolvimento em volume e diâmetro do povoamento. A escolha do espaçamento é dependente de fatores relacionados a genética das sementes, qualidade do local, fatores climáticos, disponibilidade de maquinário e ferramentas para manejo da área, além da demanda de mercado, o que gera influências nos padrões de crescimento da árvore, refletindo no rendimento da plantação e na distribuição dos anéis de crescimento (RANCE et al., 2013).

Os diferentes tipos de espaçamentos são abordados em diversas pesquisas, sendo determinado como o melhor, aquele que promove uma maior produtividade e melhor qualidade na madeira com menor tempo e custo para os fins que se destinam (TONINI, 2003; CHIES, 2005; LELES et al., 2011; AQUINO, 2017).

Em estudos realizados sobre a influência do espaçamento de plantio na qualidade de Teca (*Tectona grandis*), Zahabu et al. (2015) constataram que os maiores espaçamentos de plantio avaliados (3 m x 3 m e 4 m x 4 m) promoveram um maior incremento na altura média total e no diâmetro a altura do peito (DAP) da espécie aos 14 anos, sendo os resultados menos relevantes para as propriedades mecânicas da madeira que não apresentaram alterações significativas.

Já Teixeira et al. (2016), ao analisarem o potencial energético da madeira de *Eucalyptus* sp., observaram que os espaçamentos mais adensados promoveram uma maior competição por nutrientes entre as plantas, afetando não só as propriedades físico-mecânicas da espécie, como também a composição química da madeira, como teores de lignina e celulose e poder calorífico.

Em geral, a maior competição entre árvores resultantes dos espaçamentos mais adensados favorecem o crescimento volumétrico do povoamento até um certo nível, sendo acima desse ponto desfavorável às árvores, tendo em vista que esse tipo de espaçamento diminui o crescimento em volume das árvores, aumentando a chance de mortalidade causada pela competição excessiva das mesmas (WILL et al., 2010).

No caso dos espaçamentos mais amplos, a menor competição entre as árvores promove um crescimento maior e mais rápido em diâmetro. No entanto, esse tipo de espaçamento associado a uma copa maior e tronco mais curto resulta em uma maior proporção de madeira juvenil no fuste, promovendo assim o aparecimento de defeitos na madeira (HAPLA et al., 2000; HART, 2010).

### 5.3.2 Desbaste ou raleio

O desbaste ou raleio é uma atividade que tem como finalidade reduzir a competição entre árvores pela remoção de alguns indivíduos do povoamento, viabilizando assim um aumento da produção de madeira com uma menor competição entre as árvores remanescentes, sendo a aplicação desse procedimento dependente dos objetivos do povoamento e dos benefícios desejáveis (Del RIO et al., 2017).

Dentre os benefícios dessa prática, mencionam-se principalmente o melhor aproveitamento de árvores que seriam perdidas em razão da mortalidade natural e o melhor crescimento das árvores remanescentes (SMITH et al., 1997<sup>3</sup> citado por DAVID et al., 2017), sendo as demais vantagens atribuídas à melhoria da vitalidade da floresta e melhoria da biodiversidade.

O desbaste pode ser realizado por meio de dois métodos: seletivo e sistemático. O método seletivo é realizado por meio da remoção de árvores com base em determinadas características preestabelecidas, que variam de acordo com a finalidade que se destina a produção. Já o método sistemático é efetuado por meio da

---

<sup>3</sup> SMITH, D.M.; LARSON, B.C.; KELTY, M.J.; ASHTON. **The practice of silviculture**: applied forest ecology. New York: John Wiley & Sons, 1997. 537 p.

remoção de todas as árvores em intervalos de linhas preestabelecidas no talhão, não levando em consideração características pré-determinadas (BERUDE, 2019).

Apesar de ser um processo fundamental na obtenção de madeiras de qualidade, poucos são os estudos sobre o efeito do desbaste nas propriedades desse material. Nos estudos encontrados na literatura como o de Zanuncio et al. (2013), foi constatado que esse trato silvicultural favoreceu a biossíntese de compostos químicos pela madeira como ligninas e extrativos, tendendo a diminuir o teor de polissacarídeos, durante o ciclo produtivo, indicando que a prática aumenta a qualidade da madeira para fins energéticos, como produção de carvão, mas não para produção de celulose e papel.

Quanto ao comportamento do desbaste na qualidade da madeira de *Acacia salicina*, Hegazy et al. (2014) observaram não haver influência significativa no comprimento médio das fibras, mas apresentou significância na variação de seu comprimento. Os autores destacam ainda que o desbaste adequado diminui sobremaneira a retração tangencial e a massa específica, aumentando os valores da largura do anel anual em 155-185%, área de alburno em 4-5 vezes e área do cerne em 4-6 vezes, quando comparadas as populações não desbastadas.

#### **5.4 Aspectos gerais da colagem da madeira**

A indústria madeireira é um dos setores mais importantes e promissores do mundo, e se destaca por ser um grande gerador de renda e representatividade na economia brasileira. Estima-se que em 2016 o setor florestal brasileiro foi responsável por 1,1% do Produto Interno Bruto (PIB), o que corresponde a US\$ 60,62 bilhões, sendo as exportações de produtos florestais equivalentes a mais de US\$ 10 bilhões, com saldo positivo da ordem de US\$ 4,9 bilhões na balança comercial (Exportações-Importações) (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2017).

Dentre os segmentos do setor madeireiro que pode vir a impulsionar ainda mais o desenvolvimento econômico do país está a colagem de peças de madeira. A colagem da madeira é uma prática que visa o melhor aproveitamento da matéria-prima, permitindo uma melhor empregabilidade de peças de pequenas dimensões para obtenção de produtos de maior valor agregado (MOTTA et al., 2014).

Essa prática é dependente de diversas variáveis, sendo necessário abordagens sobre as mesmas para que o processo de produção seja eficiente. O acabamento da

madeira é um dos aspectos básicos, sendo recomendado que o material apresente uma superfície livre de marcas de usinagem, liso, apainado ou outras irregularidades incluindo partes esmagadas, farpas e fibras soltas (FRIHART; HUNT, 2010; BIAZZON et al., 2019).

A viscosidade da cola, espessura de aplicação do produto, tempo de processamento, pressão de consolidação, permeabilidade, porosidade e as próprias propriedades tecnológicas da madeira (extrativos e pH) são fatores que necessitam de precaução e verificação antes de se iniciar a etapa de colagem (SVITÁK; RUMAN, 2017).

A colagem ocorre por dois fenômenos físico-químicos: a adesão e a coesão. A adesão é um fenômeno interfacial ou por meio da energia de separação de dois substratos que ocorrem entre a madeira e o adesivo, tendo como fatores dependentes as características intrínsecas da madeira (propriedades tecnológicas), propriedades do adesivo e procedimento adotado durante a etapa de colagem (tempo e pressão de prensagem) (ALBINO et al., 2010; SILVA et al., 2020).

A pouca interação desses fatores resulta na má colagem do material fazendo com que as superfícies se soltem quando uma força é aplicada. Apesar de algumas teorias de adesão enfatizarem os aspectos mecânicos e outros destacarem os aspectos químicos, estruturas e interações químicas determinam as propriedades mecânicas, que por sua vez, determinam a força que está concentrada nas ligações químicas, ficando claro que ambos os aspectos não devem ser tratados de maneira distinta (FRIHART, 2005).

Já a coesão é definida como a força interna de um adesivo como resultados de uma variedade de interações dentro do próprio adesivo (KUMAR; PIZZI, 2019). A força coesiva de um adesivo polimérico depende do tamanho molecular, da organização macromolecular e da uniformidade supermolecular (MANO; MENDES, 2004; BIAZZON et al., 2019).

Para que haja uma interação satisfatória que propicie uma boa adesão e coesão na madeira colada, é necessário que o tipo de adesivo selecionado esteja de acordo com as condições que o produto a ser colado será exposto, sendo o mesmo capaz de penetrar e solidificar nas cavidades celulares da madeira conferindo uma linha de cola resistente.

## 5.5. Adesivos para colagem de madeiras

O termo adesivo é utilizado para definir substâncias capazes de manter dois materiais unidos pela junção de suas superfícies (PINTO et al., 2011). A função de um adesivo, além de unir dois substratos, é fluir e preencher espaços vazios entre as juntas a serem coladas, o que reduz a distância entre os mesmos causando interações entre o adesivo e o substrato (PIZZI, 1994; BIANCHE et al., 2016).

Os principais adesivos utilizados na indústria madeireira são constituídos a base de formaldeído, como a ureia, fenol, melamina, resorcinol e isocianato, além do poliacetato de vinila, que são empregados tanto no segmento madeireiro quanto em algumas pesquisas (PIZZI; MITTAL 2003; PLASTER et al., 2012; BOA et al., 2014; SEGUNDINHO et al., 2017; GONÇALVES et al., 2019).

O adesivo a base de ureia-formaldeído é o mais utilizado na indústria de painéis à base de madeira devido sua boa coesão e adesão, cura rápida, capacidade de não alterar a cor do produto final, ser solúvel em água, não inflamável, alta reatividade e baixo custo (JEONG; PARK, 2019), sendo a maior desvantagem que limita o uso dessa substância em alguns segmentos, a emissão de fenóis pela hidrólise de ligações químicas fracas, que quando expostas ao ambiente, pode causar danos à saúde humana (PARK et al., 2013).

A melamina é bastante utilizada para revestimento de superfícies de produtos à base de madeira, sendo essa empregabilidade resultante da boa estabilidade térmica do adesivo, transparência, resistência à umidade, resistência à fervura e a abrasão e rigidez, fornecendo assim boas propriedades e bom desempenho na colagem (MERLINE et al., 2013).

Já o fenol constituído por reações com o formaldeído apresenta uma gama de aplicações comerciais, principalmente para ambientes externos devido sua resistência à umidade, estabilidade térmica e isolamento elétrico, sendo empecilho para maior exploração desse adesivo, o alto custo e o tempo de cura que é considerado lento quando comparado ao tempo das demais resinas (KOPF, 2000; VEGA-AGUILAR et al., 2015).

O resorcinol é caracterizado por possuir uma alta resistência a esforços mecânicos e resistência à umidade e alta adesão, sendo um adesivo com cura à temperatura ambiente por meio do uso de um catalisador, o que torna esses aspectos ainda mais desejáveis para a produção de madeira laminada colada, construções

navais e aviação (TELES, 2009; CERCHIARI, 2013). Em razão do seu alto custo, esse adesivo não é utilizado separadamente, sendo geralmente agregado ao formaldeído devido a eficiência comprovada (LI et al., 2017).

O isocianato é um componente aplicado para formulação de diversos produtos, sendo considerado um dos mais recentes desenvolvimentos da tecnologia da colagem de madeiras devido suas vantagens, que são a cura em condições de elevada umidade, capacidade de reação sem a presença de formaldeído, e durabilidade que está associada as excelentes propriedades de adesão dessa substância (LOPES; CHINASSO, 2008), sendo o fator limitante da maior exploração desse componente o alto custo e toxicidade que levam a desvalorização do produto em alguns setores.

O poliacetato de vinila (PVA) é um adesivo com grande potencial utilizado para colagem de madeiras, sendo reconhecido pelo seu alto desempenho, onde seu uso é recomendado para montagem de painéis em prensagem com ou sem aquecimento, radiofrequência e *finger-joint* (conjunto de emendas retangulares em duas peças de madeira) (FERREIRA et al., 2012). Por ser à base de água, apresenta vantagens como facilidade e segurança no manuseio, ser inodora e não inflamável, possuir baixo custo em relação as demais resinas comerciais, rápida secagem quando submetida a condições adequadas, fácil limpeza e uma boa estabilidade durante sua estocagem (IWAKIRI, 2005; CAMPOS et al., 2014).

Além dos adesivos tradicionalmente comercializados, alguns componentes naturais têm sido testados em diversas pesquisas no intuito de fornecer informações sobre o potencial de sintetização, sendo a finalidade desses testes de reduzir o consumo de produtos tóxicos por meio de substâncias de fonte renovável. Nos trabalhos encontrados na literatura, é possível constatar a exploração de componentes como a mamona, proteínas animais e vegetais, celulose, amidos, gomas naturais, ligninas, taninos e entre outros que são vistos como potenciais substitutos dos adesivos sintéticos (ROSAL; HILLIG, 2014; SILVA et al., 2017; ANTOV et al., 2021; ZIDANES et al., 2021; BACIGALUPE; ESCOBAR, 2021; ZUBER et al., 2021; LOPES et al., 2021; SILVA et al., 2021).

Dentre esses, destaca-se o tanino, que é extraído principalmente da casca ou do cerne de algumas espécies. O tanino é aplicado para diversos fins, sendo muito utilizado para curtimento de couro, produção de tintas, purificação de águas residuais, produção de adesivos naturais para madeira, além de ser uma substância de grande

demanda na indústria farmacêutica e alimentícia devido suas propriedades (SARTORI et al., 2015).

Para a indústria de adesivos de madeira, os taninos classificados como condensados são os mais importantes devido sua capacidade de precipitar-se com o formaldeído, formando um polímero de estrutura rígida (GONÇALVES; LELIS, 2001; CARVALHO et al., 2014). Esse tipo de tanino apresenta grande escala industrial, constituindo 90% da produção mundial, sendo geralmente obtidos nas espécies acácia negra (*Acacia mearnsii* De Wild) e quebracho (*Schinopsis* sp.), eucalipto (*Eucalyptus astringens*), mangue-vermelho (*Rhizophora candelaria*), mangue-branco (*Rhizophora mangle*) e outros (PAES et al., 2006; AZEVÊDO et al., 2015; FERREIRA et al., 2019; SOUZA, 2019).

O tanino extraído das cascas da acácia negra (*Acacia mearnsii* De Wild) é o mais explorado a nível industrial no Brasil, pois apresenta boas respostas na formulação de adesivos, sendo uma alternativa para substituição dos adesivos sintéticos devido a seu alto teor e qualidade (GOULART et al., 2012).

Contudo, os estudos sobre as propriedades da madeira e sua utilização em diferentes segmentos como na produção de juntas coladas amplia o uso de outras espécies no setor madeireiro, reduzindo a pressão sobre as florestas, viabilizando a exploração da madeira de forma racional, sustentável e segura.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBINO, V.C.S.; MORI, F.A.; MENDES, L.M. Estudo da interface madeira-adesivo de juntas coladas com resorcinol-formaldeído e madeira de *Eucalyptus grandis* w. Hill ex Maiden. **Scientia Forestalis**, v. 38, n. 87, p. 509-516, 2010.
- ANTOV, P.; SAVOV, V.; KRISTÁK, L.; RÉH, R.; MANTANIS, G.I. Eco-Friendly, high-density fiberboards bonded with urea-formaldehyde and ammonium lignosulfonate. **Polymers**, v. 13, n. 2, p. 220-233. 2021. Doi: <https://doi.org/10.3390/polym13020220>
- AQUINO, P.S.R. **Crescimento inicial de eucalipto em função do espaçamento utilizando delineamento sistemático tipo “leque”**. 2017. 130f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7190**: projeto de estruturas de madeira. Anexo B – Determinação das propriedades das madeiras para projetos de estruturas. Rio de Janeiro, 1997. 107p.
- AZEVÊDO, T.K.B.; PAES, J.B.; CALEGARI, L.; NASCIMENTO, J.W.B. Qualidade dos taninos de jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*) para a produção de adesivo tanino formaldeído. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 2, p. 507-514, 2015. Doi: <http://dx.doi.org/10.5902/1980509818470>
- BACIGALUPE, A.; ESCOBAR, M.M. Soy Protein adhesives for particleboard production – A Review. **Journal of Polymers and the Environment**. (2021). Doi: <https://doi.org/10.1007/s10924-020-02036-8>
- BERUDE, L.C. **Análise operacional de métodos de desbaste mecanizado em plantios de *Pinus taeda***. 2019. 69f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2019.
- BIANCHE, J.J.; CARNEIRO, A.C.O.; LADEIRA, J.P.S.; TEIXEIRA, A.P.M.; PEREIRA, F.A.; OLIVEIRA, B.S. Shear strength in the glue line of *Eucalyptus* sp. and *Pinus* sp. wood. **Revista Árvore**, v. 40, n. 6, p. 1109-1117, 2016. Doi: <https://doi.org/10.1590/0100-67622016000600017>
- BIAZZON, J.C.; ARAÚJO, V.A.; ALVES, P.R.G.; MORALES, E.A.M.; GONÇALVES, M.T.T.; VALARELLI, I.D. Resistência mecânica à adesão em superfícies de madeira de pinus aplainadas e unidas por adesivos PVAc. **Revista Matéria**, v. 24, n. 1, e-12323, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620190001.0606> .
- BOA, A.C.; GONÇALVES, F.G.; OLIVEIRA, J.T.S.; PAES, J.B.; ARANTES, M.D.C. Resíduos madeireiros de eucaliptos colados com resina ureia formaldeído à temperatura ambiente. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 102, p. 279-288, 2014.
- CALEGARI, L.; CALEGARI, C.C.A.; LOPES, P.J.G.; GATTO, D.A.; STANGERLIN, D.M. Normalização técnica para determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira. **Ciência da Madeira**, v. 4, n. 2, p. 122-138, 2013. Doi: <http://dx.doi.org/10.15210/cmadv4i2.4062>.

CALONEGO, F.W.; SEVERO, E.T.D.; BRITO, A.F.; RODRIGUES, P.L.M.; PELOZZI, M.M.A. Correlação entre dureza janka e outras propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis* modificada termicamente. In: III CONGRESSO LATINOAMERICANO DE ESTRUCTURAS DE MADEIRA. III CONGRESSO IBERO-LATINOAMERICANO DE LA MADERA EN LA CONSTRUCCIÓN, 3, Buenos Aires, 2017. **Anais...** Buenos Aires: CIMAD, 2017.

CAMPOS, C.I.; FERREIRA, B.S.; PRATES, G.A.; GOVEIA, D.; VALENTINA, L.V.O.D. Utilização de adesivo PVA em compensados de *Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 8, n. 1, p. 59-64, 2014. Doi: <https://doi.org/10.18011/bioeng2014v8n1p59-64>

CARNEIRO, A.C.O.; VITAL, B.R.; FREDERICO, P.G.U.; CARVALHO, A.M.M.L.; VIDAURRE, G.P. Propriedades de chapas de aglomerados fabricadas com adesivo tânico de angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina*) e uréia-formaldeído. **Revista Árvore**, v. 33, n. 3, p. 521-531, 2009. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622009000300014>

CARVALHO, A.G.; ZANUNCIO, A.J.V.; MENDES, R.F.; MORI, F.A.; SILVA, M.G.; MENDES, L.M. Adesivos tânicos de *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville na produção de painéis aglomerados. **Revista Árvore**, v. 38, n. 1, p. 195-202, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000100019>

CERCHIARI, A.M.F. **Aprimoramento do poliuretano a base de óleo de mamona na manufatura de madeira laminada colada (MLC) de *Cupressus lusitanica*, *Corymbia maculata* e *Hevea brasiliensis***. 2013. 105f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de São Paulo/Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2013.

CHIES D. **Influência do espaçamento sobre a qualidade e o rendimento da madeira serrada de *Pinus taeda* L.** 2005. 123f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

CHINIFORUSH, A.A.; AKBARNEZHAD, A.; VALIPOUR, H.; MALEKMOHAMMADI, S. Moisture and temperature induced swelling/shrinkage of softwood and hardwood glulam and LVL: an experimental study. **Construction and Building Materials**, v. 207, p. 70-83, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.02.114>.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA - CNI. **Cadeia produtiva de florestas nativas**. Fórum Nacional das Atividades de Base Florestal. Brasília. 94 p. 2017. Disponível em: < [http://www.abaf.org.br/wp-content/uploads/2017/11/fnbf\\_seminario-cni.pdf](http://www.abaf.org.br/wp-content/uploads/2017/11/fnbf_seminario-cni.pdf)>. Acesso em: 08 abr. 2020.

DAVID, H.C.; NETTO, S.P.; ARCE, J.E.; CORTE, A.P.D.; MARINHESKI FILHO, A.; ARAÚJO, E.J.G. Efeito da qualidade do sítio e do desbaste na produção de pinus. **Floresta e Ambiente**, v. 24, e-00096414, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.096414>

DEL RIO, M.; BRAVO-OVIEDO, A.; PRETZSCH, H.; LÖF, M.; RUÍZ-PEINADO, R. A review of thinning effects on Scots pine stands: from growth and yield to new challenges under global change. **Forest Systems**, v. 26, n. 2, p. 2-19, 2017. Doi: <https://doi.org/10.5424/fs/2017262-11325>

FERES, J.M. **Diversidade genética, fluxo gênico e sistema de cruzamento de *Anadenanthera columbrina* (VELL.) Brenan e *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg.**: duas espécies que ocorrem em alta densidade no interior do estado de São Paulo. 2013. 160f. Tese (Doutorado em Genética) – Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2013.

FERREIRA, B.S.; CAMPOS, C.I.; SILVA, M.S.; VALARELLI, I.D. Cisalhamento na linha de cola de compensados de *Eucalyptus* sp. e adesivo PVA. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 2, p. 141-146, 2012. Doi: <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2012.016>

FERREIRA, É.S.; TIMM, M.F.; KOLTON, P.H.M.; SOUZA, C.B. Potencial dos resíduos da casca de *Eucalyptus* spp para produção de adesivo natural de tanino. In: IV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA, 4, Santarém, 2019. **Anais...** Santarém: CBCTEM, 2019.

FERREIRA, K.A.C.; MENDONZA, Z.M.S.H.; RIBEIRO, E.S.; BATISTA, B.M.F.; SILVA, J.C. Análise dos compostos acidentais na madeira de *Tectona grandis* L.F. **Biodiversidade**, v. 14, n. 1, p. 105-116, 2015.

FONTE, A.P.N.; TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S.; ANJOS, R.A.M. Propriedades físicas e químicas da madeira de cerne e alburno de *Cryptomeria japonica*. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 16, n. 3, p. 277-285, 2017. Doi: <http://dx.doi.org/10.5965/223811711632017277>

FRANÇA, T.S.F.A.; ARANTES, M.D.C.; PAES, J.B.; VIDAURRE, G.B.; OLIVEIRA, J.T.S.; BARAUNA, E.E.P. Características anatômicas e propriedades físico-mecânicas das madeiras de duas espécies de mogno africano. **Cerne**, v. 21, n. 4, p. 633-640, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1590/01047760201521041877>

FRIHART, C.R. Wood adhesion and adhesives. In: ROWELL, R.M. (Ed.). **Handbook of wood chemistry and wood composites**. Boca Raton: CRC Press, Chapter 9, 2005, p. 215-278.

FRIHART, C. R., HUNT, C. G. Adhesives with wood materials: bond formation and performance. In: ROSS, R.J. (Ed.). **Wood Handbook: wood as an engineering material**. 100 ed. Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. Chapter 10, p. 10.1-10.24. (General Technical Report FPL-GTR-190).

GALVÃO, F.G.; APARÍCIO, W.C.S.; GAMA, R.C.; ESTIGARRIBIA, F. Caracterização ecológica da *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg. em uma área de transição cerrado floresta, Macapá, AP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS, 8, Recife, 2014. **Anais...** Recife: UFRPE, 2014.1 Cd-Rom.

GONÇALVES, F.G.; LELIS, R.C.C. Caracterização tecnológica da madeira de *Acacia mangium* Willd em plantio consorciado com eucalipto. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 3, p. 286-295, 2012. Doi: <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2012.034>

GONÇALVES, C. A.; LELIS, R. Teores de tanino da casca e da madeira de cinco leguminosas arbóreas. **Floresta e Ambiente**, v. 8, n.1, p. 167-173, 2001.

GONÇALVES, F.G.; SEGUNDINHO, P.G.A.; PAES, J.B.; CHAVES, I.L.S.; MARTINS, R.S.F.; SANTIAGO, S.B.; SOUZA, S.F.; SILVA, L.F.; OLIVEIRA, R.G.E.; OLIVEIRA, J.G.L. Eficiência da colagem em madeira de kiri japonês (*Paulownia tomentosa*). **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 1, p. 95-102, 2019. Doi: <https://dx.doi.org/10.5965/223811711812019095>

GOULART, M.; HASELEIN, C. R.; HOPPE, J. M.; FARIAS, J. A.; PAULESKI, D. T. Massa específica básica e massa seca de madeira de *Eucalyptus grandis* sob o efeito do espaçamento de plantio e da posição axial no tronco. **Ciência Florestal**, v. 13, n. 2, p. 167-175, 2003. Doi: <http://dx.doi.org/10.5902/198050981753>

GOULART, S.L.; MORI, F.A.; ALMEIDA, N.F.; MENDES, R.F.; MENDES, L.M. Resistência ao cisalhamento de painéis compensados produzidos com adesivo à base de taninos de *Stryphnodendron adstringens* (barbatimão). **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 3, p. 308-315, 2012. Doi: <http://doi.org/10.4322/floram.2012.036>

GUEDES, G.; MAGOSSI, D.C. Análise da qualidade da madeira de duas espécies de *Pinus* sp. (Pinaceae) resultante do método de secagem em estufa convencional. **Revista da União Latino-americana de Tecnologia**, n. 1, p. 27-41, 2013.

HAPLA, F.; OLIVER-VILLANEUVA, J.V.; GONZALEZ-MONILA, J.M. Effect of silvicultural management on wood quality and timber utilisation of *Cedrus atlantica* in the European Mediterranean area. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 58, p. 1-8, 2000. Doi: <http://doi.org/10.1007/s001070050377>

HART, J.F. A review of the effects of silviculture on wood quality. Vancouver: The University of British Columbia, 2010. 23 p. (University of British Columbia. WOOD 493). Doi: <https://dx.doi.org/10.14288/1.0103111>

HEGAZY, S.S.; AREF, I.M.; IQBAL, M. Effect of thinning regime on wood quality of *Acacia salicina* trees growing in Saudi Arabia. **Wood Research**, v. 59, n. 1, p. 109-122, 2014.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná - FUPEF, 2005.

JAMALA, G.Y.; OLUBUNMI, S.O.; MADA, D.A.; ABRAHAM, P. Physical and mechanical properties of selected wood species in Tropical Rainforest Ecosystem, Ondo State, Nigeria. **Journal of Agriculture and Veterinary Science**, v. 5, n. 3, p. 29-33, 2013. Doi: <https://doi.org/10.9790/2380-0532933>

JEONG, B.; PARK, B-D. Performance of urea-formaldehyde resins synthesized at two different low molar ratios with different numbers of urea addition. **Journal of the**

**Korean Wood Science and Technology**, v. 47, n. 2, p. 221-228, 2019. Doi: <http://doi.org/10.5658/WOOD.2019.47.2.221>

KLOCK, U.; ANDRADE, A. S. **Química da madeira**. 4ª edição revisada. 87p. Curitiba, 2013.

KOPF, P.W. Phenolic resins. In: RAYMOND, E.K.; DONALD, F.O. **Kirk-Othmer encyclopedia of chemical technology**. 4. ed. New York: Wiley, 2000, p. 129-163. Doi: <http://doi.org/10.1002/0471238961.1608051411151606.a01>

KUMAR, R.N.; PIZZI, K. A. **Adhesives for wood and lignocellulosic materials** Beverly: Wiley, 2019. 516p. (Adhesion and Adhesives: fundamental and applied aspects).

LELES, P. S. S.; ABAURRE, G. W.; ALONSO, J. M.; NASCIMENTO, D. F.; LISBOA, A. C. Crescimento de espécies arbóreas sob diferentes espaçamentos em plantio de recomposição florestal. **Scientia Forestalis**, v. 39, n. 90, p. 231-239, 2011.

LEWIS, T.; OSBORNE, D.; HOGG, B.; SWIFT, F.; RYAN, S.; TAYLOR, D.; MACGREGOR-SKINNER, J. **Tree growth relationships and silvicultural tools to assist stand management in private native spotted gum dominant forests in Queensland and northern New South Wales**. Queensland: Department of Agriculture, Fisheries and Forestry (DAFF)/Forest & Wood Products Australia Limited, 2010. 122p. (Project No: PNB 158-0910).

LI, T.; CAO, M.; LIANG, J.; XIE, X.; DU, G. Mechanism of base-catalyzed resorcinol-formaldehyde and phenol-resorcinol-formaldehyde condensation reactions: a theoretical study. **Polymers**, v. 9, n. 426, p. 1-14, 2017. Doi: <http://doi.org/10.3390/polym9090426>

LOPES, M.C.; CHINASSO, C.A. Adesivos para madeira. In: X SEMANA DE ESTUDOS FLORESTAIS E I SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO FLORESTAL, 10, Paraná, 2008. **Anais...** Paraná: UNICENTRO, 2008.

LOPES, P.J.G.; CALEGARI, L.; SILVA, W.A.M.; GATTO, D.A.; MEDEIROS NETO, P.N.; MELO, R.R.; BAKKE, I.A.; DELUCIS, R.A.; MISSIO, A.L. Tannin-based extracts of *Mimosa tenuiflora* bark: features and prospecting as wood adhesives. **Applied Adhesion Science**, v. 9, n. 3, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1186/s40563-021-00133-y>

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras**: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas no Brasil. 4. ed. São Paulo: Instituto Plantarum, 2002. 368p.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 3. ed. São Paulo: Instituto Plantarum, 2009. 384p.

MANO, E. B.; MENDES, L. C. **Introdução a polímeros**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

MELO, R.R.; SILVESTRE, R.; OLIVEIRA, T.M.; PEDROSA, T.D. Variação radial e longitudinal da densidade básica da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. com diferentes

idades. **Ciência da Madeira**, v. 4, n. 1, p. 83-92, 2013. <http://dx.doi.org/10.12953/2177-6830.v04n01a07>.

MERLINE, D.J.; VUKUSIC, S.; ABDALA, A.A. Melamine formaldehyde: curing studies and reaction mechanism. **Polymer Journal**, v. 45, p. 413-419, 2013. Doi: <http://doi.org/10.1038/pj.2012.162>

MENEZES, W.M. **Efeito da modificação térmica em escala industrial na qualidade da madeira de *Tectona grandis* Linn.F.** 2017. 131f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.

MIYOSHI, Y.; KOJIRO, K.; FURUTA, Y. Effects of density and anatomical feature on mechanical properties of various wood species in lateral tension. **Journal of Wood Science**, v. 64, p. 509-514, 2018. Doi: <http://doi.org/10.1007/s10086-018-1730-z>

MORI, C.L.S. O.; MORI, F.A.; MENDES, L.M.; SILVA, J.R.M. Caracterização da madeira de angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina* (Benth) Speng) para confecção de móveis. **Brasil Florestal**, v. 23, n. 77, p. 29-36, 2003.

MOTTA, J.P.; OLIVEIRA, J.T.S.; PAES, J.B.; ALVES, R.C.; VIDAURRE, G.B. Avaliação da resistência ao cisalhamento de juntas coladas com madeira de teca (*Tectona grandis*). **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 104, p. 615-621, 2014. Doi: <http://doi.org/10.13140/RG.2.1.3697.6169>

OLIVEIRA, J.C. **Qualidade de mudas de angico-vermelho produzidas em diferentes substratos e seu desempenho no campo.** 2017. 81f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2017.

OLIVEIRA, J. T. S. Propriedades físicas e mecânicas da madeira. In: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. (Orgs.). **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro.** Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica e Editora Ltda, 2007, p. 129-163.

OLIVEIRA, J.T.S.; FILHO, M.T.; FIEDLER, N.C. Avaliação da retratibilidade da madeira de sete espécies de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, v. 34, n. 5, p. 929-936, 2010. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622010000500018>

PAES, J.B.; DINIZ, C.E.F.; MARINHO, I.V.; LIMA, C.R. Avaliação do potencial tanífero de seis espécies florestais de ocorrência no semi-árido brasileiro. **Cerne**, v. 12, n. 3, p. 232-238, 2006.

PARK, B-D.; NURYAWAN, A.; SINGH, A.P.; CAUSIN, V.; FRIHART, C.R.; YU, Y. Crystalline characteristics of urea-formaldehyde resin adhesives at different formaldehyde/urea mole ratios. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WOOD ADHESIVES, 12, Toronto, 2013. **Proceeding...** Toronto, 2013.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEW, C. **Text book of wood technology.** 4 ed. New York: Macgraw-Hill, 1980.

PINTO, M.E.C.B.; VISCONTE, L.L.Y.; NUNES, R.C.R.; LUZ, R.F. Adesivos poliméricos à base de SBR. 2. Influência de diferentes tipos de agentes promotores de adesão. **Polímeros**, v. 21, n. 4, p. 265–270, 2011. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0104-14282011005000047>

PIZZI, A. **Advanced wood adhesives technology**. New York: M. Dekker, 1994. 289p.

PIZZI, A.; MITTAL, K. L. **Handbook of adhesive technology**. 2 ed., New York: Marcell Deckker, 2003. 1024 p.

PLASTER, O.B.; OLIVEIRA, J.T.S.; GONÇALVES, F.G.; MOTTA, J.P. Comportamento de adesão da madeira de um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* proveniente de três condições de manejo. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 2, p. 323-330, 2012. Doi: <https://doi.org/10.5902/198050985739>.

PUPO, C.H. **Relação entre as propriedades da madeira e as características dos produtos finais para energia e celulose**. 2019. 124f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp, Botucatu, 2019.

RACERO, C.S.E.; NIETO, B.I.B.; ÁVILA, J.R.H. Physical and mechanical properties of the wood used in Indigenous Housing of the Tuchín Township, Department of Córdoba, Colombia. **Inge Cuc**, v. 11, n. 1, p. 99-108, 2015. Doi: <http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.11.1.2015.10>

RANCE, W.; MAPANDA, W.; BEDIJO, N.G.; SSALI, F. **Teak silviculture guidelines: sawlog production Grant Scheme**, Uganda, 2013. 16p. Disponível em: <<http://spgs.mwe.go.ug/sites/files/Teak%20Silviculture.pdf>>. Acesso em: 28 mar. 2020.

ROSAL, T.S.; HILLIG, É. Utilização de lignosulfonato de amônio na produção de painéis aglomerados. **Ciência da Madeira**, v. 5, n. 2, p. 93-102, 2014. Doi: <http://10.12953/2177-6830.v05n02a03>

SARTORI, C.J.; CARVALHO, A.G.; FONSECA, A.S.; CASTRO, A.H.F.; SARTORI, P.J.; MORI, F.A. Teor de taninos totais e condensados em cascas e folhas de barbatimão [*Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville]. In: II CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA, 2, Belo Horizonte, 2015. **Anais...** Belo Horizonte: CBCTEM, 2015.

SCHIMLECK, L.R.; MATOS, J.L.M.; TRIANOSKI, R.; PRATA, J.G. Comparison of methods for estimating mechanical properties of wood by NIR spectroscopy. **Journal of Spectroscopy**, ID 4823285, 10p., 2018. Doi: <https://doi.org/10.1155/2018/4823285>

SEGUNDINHO, P.G.A.; GONÇALVES, F.G.; GAVA, G.C.; TINTI, V.P.; ALVES, S.D.; REGAZZI, A.J. Eficiência da colagem de madeira tratada de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell para produção de madeira laminada colada (MLC). **Revista Matéria**, v. 22, n. 2, 2017. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620170002.0140>

SILVA, J.G.M.; MEDEIROS NETO, P.N.; SORANSO, D.R.; TINTI, V.P.; OLIVEIRA, J.T.S.; OLIVEIRA, J.G.L. Influência da anatomia no desempenho da adesão de quatro

espécies madeireiras. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 4, p. 1-17, 2020. Doi: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i4.2727>

SILVA, J.V.F.; SILVA, M.F.F.; FERREIRA, B.S.; FIORELLI, J.; CHRISTOFORO, A.; CAMPOS, C.I. Castor oil based polyurethane adhesive content on OSSB produced with soybean straw. **Ambiente Construído**, v. 21, n. 1, p. 23-36. 2021, Doi: <https://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212021000100491>

SILVA, M.A.S.; SANTOS, P.V.; SILVA, G.C.; LELIS, R.C.C.; NASCIMENTO, A.M.; BRITO, E.O. Utilização de lignosulfonato e adesivo fenol-formaldeído na produção de painéis aglomerados. **Scientia Forestalis**, v. 45, n. 115, p. 423-433, 2017. Doi: <http://10.18671/scifor.v45n115.01>

SILVA, S.V.K. **Produção de biomassa e quantificação de nutrientes em *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage sob diferentes densidades de plantio**. 2015. 78f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Centro–Oeste, Guarapuava, 2015.

SOUZA, C.O. **Potencial energético da madeira e carvão vegetal de angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina*) jovem**. 2018. 49f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2018.

SOUZA, J.B. **Potencial de uso dos taninos de *Acacia mangium* na produção de adesivos para colagem de madeira**. 2019. 70f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Macaíba, 2019.

SVITÁK, M.; RUMAN, D. Tensile-shear strength of layered wood reinforced by carbon materials. **Wood Research**, v. 62, n. 2, p. 243-252, 2017.

TEIXEIRA, C.M.; MARTINS, M.P.; YAMAMOTO, H.; CHRISOSTOMO, W.; YAMAJI, F.M. Caracterização química de resíduos de *Eucalyptus* sp. de floresta de curta rotação para a produção de bioenergia. **Revista Virtual de Química**, v. 8, n. 5, p. 1693-1701, 2016. Doi: <http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20160112>

TELES, R. F. **Propriedades tecnológicas de vigas de madeira laminada colada produzidas com louro vermelho (*Sextonia rubra*)**. 2009. 118f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

TONINI, H. **Crescimento e produção de clones de *Eucalyptus saligna* Smith, na depressão central e serra do sudoeste, Rio Grande do Sul**. 2003. 289f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

TOUCINI, R. Processos de polpação, lavagem, depuração e secagem da polpa. In: SENAI. **Celulose: Área Celulose e Papel**. São Paulo: SENAI – SP editora, 2013. cap. 2, p. 59-134.

VALENTE, B.M.R.T.; EVANGELISTA, W.V.; SILVA, J.C.; DELLA LÚCIA, R.M. Variabilidade radial e longitudinal das propriedades físicas e anatômicas da madeira de angico-vermelho. **Scientia Forestalis**, v. 41, n. 100, p. 485-496, 2013.

VEGA-AGUILAR, C.A.; LUTZ, G.; MATA-SEGRADA, J.F. Phenolic resin derived from *Jatropha curcas* seed-husk lignin as phenol substitute. **Research Journal of the Costa Rican Distance Education University**, v. 7, n. 2, p. 217-223, 2015. Doi: <https://doi.org/10.22458/urj.v7i2.1148>

WILL, R.; HENNESSEY, T.; LYNCH, T.; HOLEMAN, R.; HEINEMANN, R. Effects of planting density and seed source on Loblolly Pine stands in southeastern Oklahoma. **Forest Science**, v. 56, n. 5, p. 437-443, 2010. Doi: <https://doi.org/10.1093/forestscience/56.5.437>

WILLFÖR, S. M.; SMEDS, A. I.; HOLMBOMA, B. R. Chromatographic analysis of lignans. **Journal of Chromatography A**, v.1112, p. 64-77, 2006. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2005.11.054>

YANG, L.; LIU, H. A review of *Eucalyptus* wood collapse and its control during drying. **BioResources**, v. 13, n. 1, p. 2171-2181, 2018. Doi: <http://dx.doi.org/10.15376/biores.13.1.Yang>

ZAHABU, E.; RAPHAEL, T.; CHAMSHAMA, S.A.O.; IDDI, S.; MALIMBWI, R.E. Effect of spacing regimes on growth, yield, and wood properties of *Tectona grandis* at Logunza forest plantation, Tanzania. **International Journal of Forestry Research**, v. 3, n. 6, p. 1-6, 2015. Doi: <http://dx.doi.org/10.1155/2015/469760>.

ZANUNCIO, A.J.V.; COLODETTE, J.L. Teores de lignina e ácidos urônicos na madeira e polpa celulósica de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 35, n. 2, p. 341-347, 2011. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622011000200018>

ZANUNCIO, A.J.V.; COLODETTE, J.L.; GOMES, F.J.B.; CARNEIRO, A.C.O.; VITAL, B.R. Composição química da madeira de eucalipto com diferentes níveis de desbaste. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 4, p. 755-760, 2013. Doi: <https://doi.org/10.5902/1980509812359>

ZEN, L.R. **Métodos combinados para secagem da madeira de Eucalyptus: pré-secagem ao ar livre com secagem em estufa convencional**. 2016. 103f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

ZIDANES, U.L.; DIAS, M.C.; LORENÇO, M.S.; ARAÚJO, E.S.; SILVA, M.J.F.; SOUZA, T.B.; FERREIRA, S.R.; UGOCIONI, J.C.; TONOLI, G.H.D.; BIANHI, M.L.; MORI, F.A. Preparation and characterization of tannin-based adhesives reinforced with cellulose nanofibrils for wood bonding. **Holzforschung**, v. 75, n. 2, p. 159-167, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1515/hf-2020-0033>

ZUBER, S.H.; HASHIKIN, N.A.A.; YUSOF, M.F.M.; AZIZ, M.Z.A.; HASHIM, R. Characterization of soy-lignin bonded *Rhizophora* spp. particleboard as substitute phantom material for radiation dosimetric studies – Investigation of CT number, mass

attenuation coefficient and effective atomic number. **Applied Radiation and Isotopes**, v. 170, e-109601, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2021.109601>

## CAPÍTULO I

### PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DA MADEIRA JOVEM DE *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg. PROVENIENTES DE DESBASTE

**Resumo:** O conhecimento sobre as propriedades físicas e mecânicas da madeira é fundamental para diversificação do material no setor madeireiro, sendo necessário levar em consideração, práticas que podem influenciar em sua qualidade. O objetivo do presente trabalho foi avaliar as propriedades físicas e mecânicas da madeira jovem desbastada de angico-vermelho proveniente de diferentes espaçamentos de plantio (3 m x 3 m, 4 m x 4 m, 5 m x 5 m). Para o estudo, foram selecionadas cinco árvores desbastadas por espaçamento em uma floresta piloto localizada no distrito de Rive, município de Alegre, sul do estado do Espírito Santo. As propriedades físicas foram determinadas quanto à densidade básica, retratibilidade linear e volumétrica, e grau de colapso no sentido base-topo e medula-casca. Já as propriedades mecânicas foram determinadas quanto à resistência ao cisalhamento, resistência à compressão paralela e perpendicular às fibras, resistência à flexão estática e dureza Janka. Os corpos de prova foram dimensionados e ensaiados conforme prescrições normativas. De acordo os resultados, as propriedades físico-mecânicas apresentaram melhores respostas em madeiras provenientes dos espaçamentos 4 m x 4 m e 5 m x 5 m. As propriedades físicas apresentaram tendências decrescentes no sentido base-topo e crescente no sentido medula-casca, sendo a distinta tendência observada no grau de colapso em decorrência da posição resultante das variações da densidade básica. As médias aritméticas da densidade básica para os três espaçamentos variaram entre 0,47 g cm<sup>-3</sup> a 0,63 g cm<sup>-3</sup>, sendo o fator limitante para melhor uso desse material, as variações dimensionais (retratibilidade) observadas em madeiras mais densas. O angico-vermelho apresentou boa resistência mecânica, sendo os valores inferiores observados no espaçamento 3 m x 3 m resultantes da maior competição entre árvores que influenciou em seu desenvolvimento. De maneira geral, o espaçamento de plantio e o desbaste não afetaram negativamente a qualidade da madeira. A espécie apresenta potencial para comércio quando ainda jovens, sendo seu uso recomendado a locais que demandam certa resistência e rigidez, e pouca estabilidade dimensional.

**Palavras-chave:** Caracterização tecnológica, madeira jovem, angico-vermelho.

## CHAPTER I

### PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF YOUNG WOOD OF *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg. FROM THE THINNING

**Abstract:** Knowledge about the physical and mechanical properties of wood is fundamental to diversify the material in the wood sector, and it is necessary to take into account practices that can influence its quality. The objective of the present work was to evaluate the physical and mechanical properties of young wood thinned of red-angico from the different planting spacing (3 m × 3 m, 4 m × 4 m, 5 m × 5 m). For the study, five trees thinned by spacing were selected in a pilot forest located in the district of Rive, municipality of Alegre, south of the state of Espírito Santo. The physical properties were determined in terms of basic density, linear and volumetric retractability, and degree of collapse of the wood in the base-top and pith-bark directions. The mechanical properties were determined in terms of shear strength, resistance to compression parallel and perpendicular to the fibers, resistance to static bending and Janka hardness. The specimens were dimensioned and tested according to the normatives requirements. According to the results, the physical-mechanical properties showed better responses in wood from 4 m × 4 m and 5 m × 5 m spacings. The physical properties showed decreasing trends in the base-top direction and increasing in the pith-bark direction, the distinct trend being observed in the degree of collapse due to the position resulting from the variations in the basic density. The arithmetic averages of the basic density for the three spacings varied between 0.47 g cm<sup>-3</sup> to 0.63 g cm<sup>-3</sup>, being the limiting factor for better use of this material, the dimensional variations (retractability) observed in denser woods. The red-angico showed good mechanical resistance, with the lower values observed in the 3 m × 3 m spacing resulting from the greater competition between trees that influenced its development. Generally speaking, planting spacing and thinning did not negatively affect wood quality. The species has potential for trade when still young, and its use is recommended in places that demand some resistance and rigidity, and little dimensional stability.

**Keywords:** Technological characterization, juvenile wood, red-angico.

## 1. INTRODUÇÃO

As discussões sobre as propriedades tecnológicas da madeira têm se tornado frequentes devido a versatilidade e alto potencial de utilização do material, sendo as características intrínsecas à madeira, os fatores que influenciam em sua qualidade, fazendo-se necessário abordagens que auxiliem na escolha correta do seu destino final.

Dentre as características de maior interesse para o setor madeireiro, estão as propriedades físicas e mecânicas, que são determinadas para intensificar o uso da madeira para fins industriais e construtivos (GONÇALVES et al., 2009; LATREILLE et al., 2018). Por meio dessas propriedades, é possível estimar a rigidez e resistência da madeira a esforços externos, o que contribui para geração de produtos com maior valor agregado, reduzindo a exploração concentrada de determinados indivíduos (MOREIRA; MOUTINHO, 2018).

Uma das espécies já comercializadas e com potencial madeireiro é o angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina* (L.) Speg.), que apresenta uma boa resistência e rigidez quando adultas, sendo um material de grande durabilidade e de fácil trabalhabilidade (LORENZI, 1992; TEIXEIRA et al., 2011). No entanto, apesar das importantes características que possui, pesquisas são limitadas sobre as propriedades da madeira dessa espécie ainda jovem, levando a uma depreciação do material.

As informações referentes a madeira jovem permitem estimar melhor os valores comuns entre as propriedades da madeira juvenil e adulta, o que gera uma valorização do material desde seu desenvolvimento inicial (BENDTSEN; SENFT, 1986; CAMPOS; CONEGLIAN, 2015). Para isso, deve-se levar em consideração nos estudos das propriedades da madeira, as intervenções aplicadas no plantio, já que as mesmas promovem diferentes respostas nas características futuras do material.

Em estudos, Furtado et al. (2017) explicam que entre as intervenções, as práticas silviculturais aplicadas a um povoamento florestal são as que mais refletem na qualidade da madeira, e que o conhecimento de determinadas ações é imprescindível para obtenção de um material com características desejáveis que possa suprir a demanda industrial.

Entre as práticas, o espaçamento de plantio e o desbaste determinam ou limitam a quantidade de recursos que estarão disponíveis por planta, implicando nas

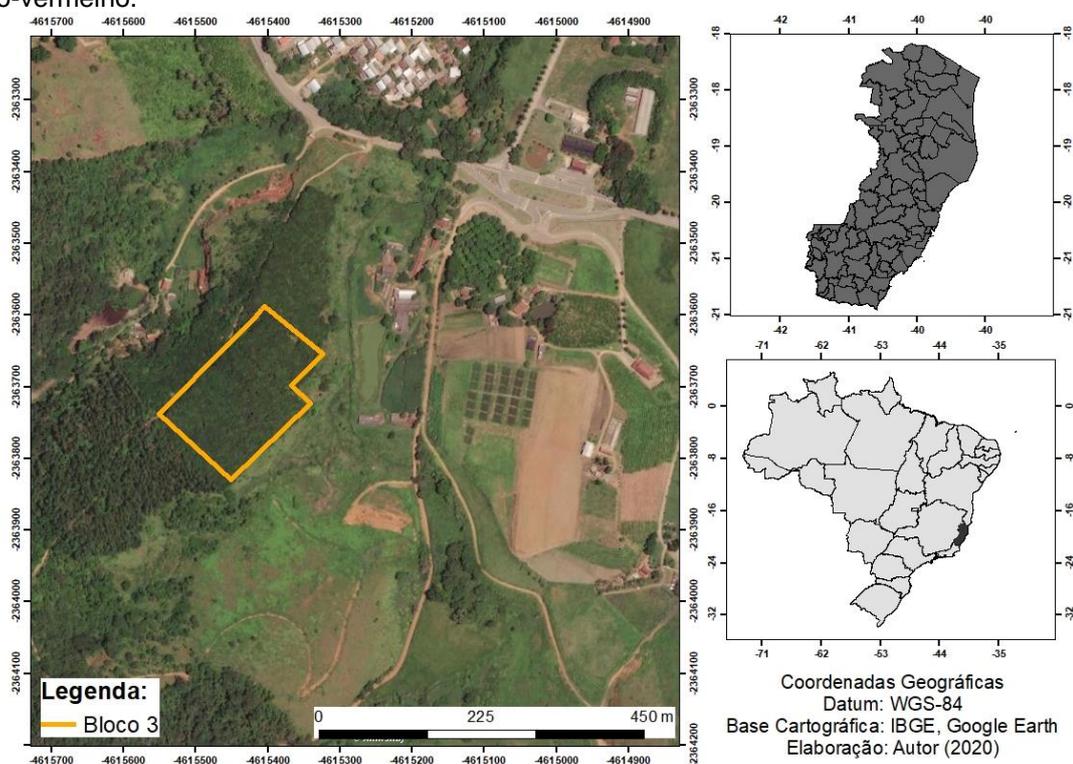
propriedades da madeira e em seu valor comercial. Nesse contexto, o presente estudo objetivou avaliar as propriedades físicas e mecânicas da madeira jovem de angico-vermelho no sentido base-topo e medula-casca do fuste, e associar os resultados obtidos aos espaçamentos de plantio bem como ao desbaste na qual as árvores foram submetidas.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Material experimental e local de amostragem

O material para este estudo foi obtido de povoamentos da espécie *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg., provenientes de uma plantação experimental localizada em área pertencente ao Instituto Federal do Espírito Santo, campus Alegre, situado no distrito de Rive, município de Alegre, na região sul do Estado do Espírito Santo (Figura 1). A área é denominada no âmbito do projeto “Floresta Piloto”.

Figura 1. Localização da plantação experimental da Floresta Piloto onde foram coletadas as árvores de angico-vermelho.



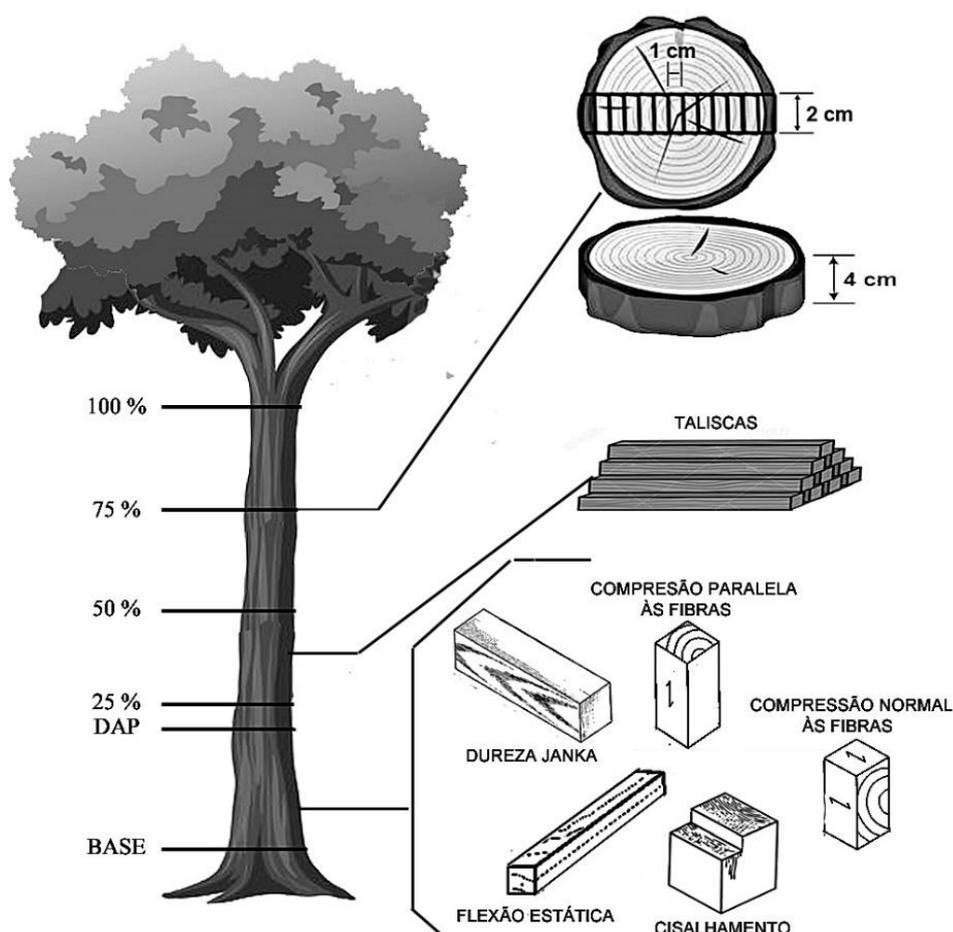
Fonte: A autora.

O clima da região, de acordo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, marcante pela ocorrência de verão chuvoso e inverno seco, sendo a temperatura e precipitação média no período de crescimento das árvores de 23,9°C e 1.222 mm, respectivamente, tendo por base os dados da Estação Meteorológica Automática, localizada em Rive, e que foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (ALVARES et al., 2013; SOUZA, 2018).

Em relação a coleta das árvores, foram selecionados indivíduos resultantes de um desbaste seletivo na plantação (Figura 1) aplicado com a finalidade de reduzir a competição entre as árvores, sendo os indivíduos coletados oriundos dos espaçamentos 3 m x 3 m, 4 m x 4 m, e 5 m x 5 m, com 90 meses de idade.

As árvores coletadas foram selecionadas em função das classes diamétricas, sendo colhidas de cada espaçamento cinco árvores e extraídos discos de 4 cm de espessura, de acordo a altura comercial que foi considerada quando a bifurcação interrompia a continuidade do fuste (0% (base), 25%, 50%, 75% e 100% (topo)), além de um disco extra retirado à altura do diâmetro a altura do peito (DAP) (1,30 m do solo). Em relação as toras coletadas, as mesmas foram destinadas para análise das propriedades mecânicas (primeiras toras) e colagem em taliscas (segundas toras) (Figura 2). Todo o material foi devidamente identificado e armazenado em um galpão fechado e sem aquecimento.

Figura 2. Esquema de amostragem do material obtido para análise ao longo da altura comercial e no sentido medula-casca em madeiras de angico-vermelho.



## 2.2 Determinação das propriedades físicas

Para análise das propriedades físicas da madeira, os discos foram seccionados a cada centímetro radial por meio da serra de fita de bancada (Invicta, SFI-80), sendo identificados de acordo o tratamento e posição da árvore. Para análise da densidade básica, os corpos de prova tiveram suas dimensões adaptadas devido à variação diametral dos discos, tendo um padrão dimensional de 1 cm x 2 cm x 4 cm cortados nas direções radial, tangencial e longitudinal, respectivamente (Figura 2).

A determinação da densidade básica, em  $\text{g cm}^{-3}$ , foi obtida pela razão entre massa seca e seu volume saturado em água, como descrito por Vital (1984).

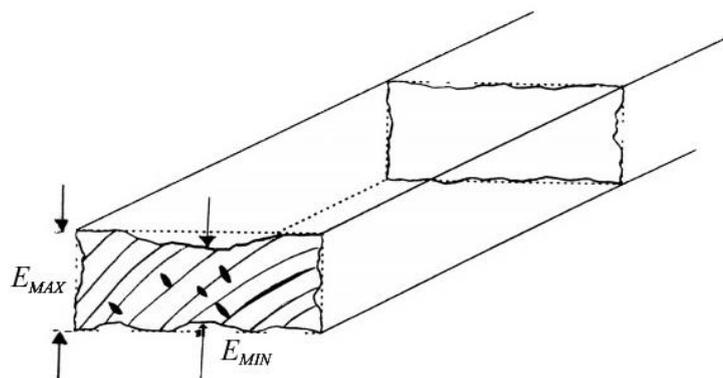
A retratibilidade linear e volumétrica foram obtidas com base nos mesmos corpos de prova utilizados para determinação da densidade básica. Para a retratibilidade linear as amostras foram mensuradas nas direções radial, tangencial e longitudinal com paquímetro digital (Digimess, 100.170).

Tanto a retratibilidade linear quanto a retratibilidade volumétrica de cada corpo de prova foram determinadas de acordo a variação da dimensão do material saturado para aquela do material anidro, sendo a contração e variação de volume expressas por uma relação percentual conforme recomendado pela Norma Brasileira Regulamentadora - NBR 7190 (ABNT, 1997).

Obtidos os valores da retratibilidade da madeira, foi determinado o fator anisotrópico por meio da relação entre a retratibilidade nas direções tangencial e radial (T/R).

Para avaliar se as amostras apresentariam tendência a colapsar durante o processo de secagem, foi medida a espessura dos corpos de prova no sentido transversal como descrito por Welling (1994) (Figura 3), sendo essa avaliação realizada com um paquímetro digital de precisão 0,001mm.

Figura 3. Representação da obtenção do colapso.  $E_{max}$ : Espessura máxima;  $E_{min}$ : Espessura mínima.



Fonte: Welling (1994). Adaptado pela autora.

O grau de colapso (GC), em mm, das amostras foi estimado pela diferença entre a maior espessura máxima ( $E_{max}$ ) e a menor espessura mínima ( $E_{min}$ ) da seção transversal (Equação 1).

$$GC = E_{max} - E_{min} \quad (1)$$

Após a mensuração do material para obtenção dos dados saturados, as amostras foram submetidas ao processo de secagem em estufa (Solab, SL-100) com temperatura inicial de 50°C, aumentando-se gradativamente de 10 em 10°C a cada 24 horas até 103 ± 2°C, permanecendo nesta temperatura até massa constante. Após a secagem, as amostras foram novamente mensuradas para obtenção das dimensões e massa em condição seca.

### 2.3 Determinação das propriedades mecânicas

Os corpos de prova para análise das propriedades mecânicas foram produzidos conforme a *American Society for Testing and Materials* - ASTM D-143 (ASTM, 2014), com exceção dos corpos de prova para ensaios de resistência a compressão paralela às fibras e resistência a compressão normal às fibras que foram produzidos conforme Norma Brasileira Regulamentadora - NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 1997).

Foram obtidas 14 repetições para cada ensaio mecânico proposto nos diferentes espaçamentos, totalizando assim 210 amostras. Os corpos de prova foram acondicionados em câmara de climatização (Eletrolab, EL011) com temperatura de

25 ± 2°C e 65 ± 5% de umidade relativa - UR, e foram pesados periodicamente até estabilização.

Para a avaliação das propriedades mecânicas as amostras foram produzidas com as dimensões adaptadas como apresentado na Tabela 1, sendo essa adaptação resultante da pouca disponibilidade de material decorrente de defeitos e ataque de brocas.

Tabela 1. Dimensões dos corpos de prova para avaliação das propriedades mecânicas da madeira de angico-vermelho.

| Ensaio   | Dimensões (cm)   | Norma                 |
|--|------------------|-----------------------|
| Resistência à compressão paralela às fibras      | 2,5 × 2,5 × 7,5  |                       |
| Resistência à compressão perpendicular às fibras | 2,5 × 2,5 × 5,0  | NBR 7190 (ABNT, 1997) |
| Resistência à flexão estática                    | 2,5 × 2,5 × 46,0 |                       |
| Resistência ao cisalhamento                      | 5,0 × 5,0        | ASTM D-143 (2014)     |
| Dureza Janka                                     | 5,0 × 5,0 × 15,0 |                       |

Após estabilização em câmara de climatização (com temperatura de 25 ± 2°C e 65 ± 5% de umidade relativa – UR), os ensaios mecânicos foram realizados em uma máquina universal de ensaios (EMIC, DL 10000) com tomada de dados automatizada.

## 2.4 Análise estatística dos dados

Os dados das propriedades físicas e mecânicas foram avaliados quanto as seguintes pressuposições: a) homogeneidade de variância (teste de Cochran,  $p < 0,05$ ), e b) normalidade dos erros experimentais (teste de Shapiro-Wilk,  $p < 0,05$ ) por meio do *software* SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*, versão 22.0, IBM, Armonk, NY, EUA).

Atendidas as pressuposições, foi realizada a análise da variância ( $F \leq 0,05$ ) com base no delineamento inteiramente casualizado (DIC), composto de três tratamentos (espaçamentos de plantio) para as propriedades tecnológicas da madeira. Nos casos em que houve diferença significativa na análise variância, foi aplicado o teste de médias (Tukey,  $p < 0,05$ ), para diferenciar as médias das propriedades nos respectivos espaçamentos. As análises de variância e teste de médias foram realizadas no programa Sisvar (Versão 5.6, Lavras, MG, Brasil).

As propriedades físicas foram analisadas por meio de regressão linear simples expressadas de forma descritiva, sendo as análises efetuadas no *software Excel*

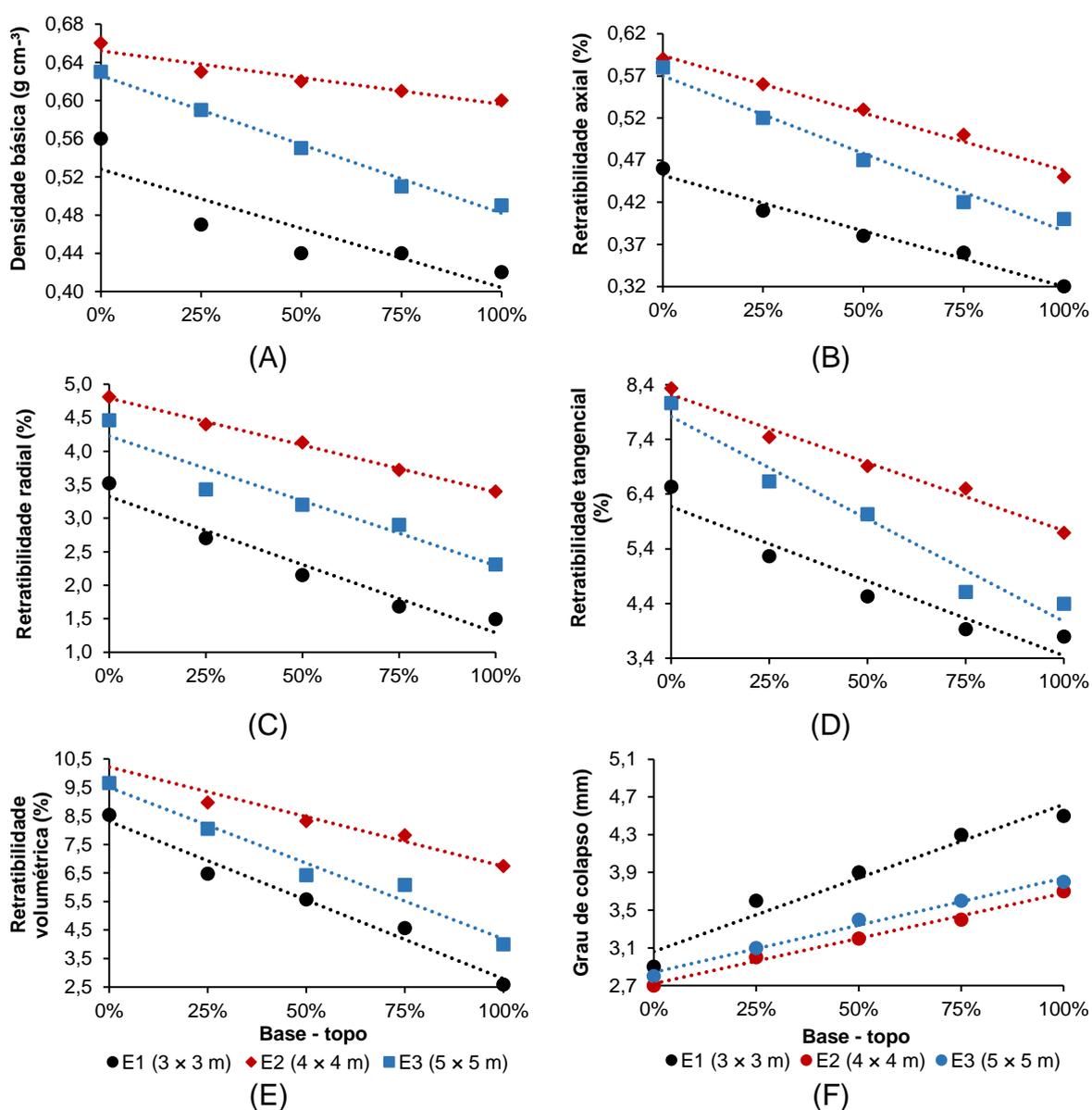
(Microsoft ®, Office Professional Plus, versão 2016, Redmond, WA, EUA) com o propósito de avaliar o comportamento da madeira no sentido medula-casca e base-topo em função dos espaçamentos (3 m × 3 m, 4 m × 4 m, 5 m × 5 m).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Propriedades físicas da madeira

Ao correlacionar o comportamento das propriedades físicas da madeira jovem de angico-vermelho com a altura comercial, pôde-se observar uma tendência ao declínio da densidade básica e retratibilidade (axial, radial, tangencial e volumétrica) no sentido base-topo nos três espaçamentos estudados (Figura 4).

Figura 4. Propriedades físicas da madeira de angico-vermelho no sentido base-topo nos diferentes espaçamentos.



Essa tendência de redução da densidade e da retratibilidade no sentido da base até o topo está associada a maior proporção de lenho juvenil mais próxima ao topo (TRUGUILHO et al., 1996; DIAS, 2017), o que resultou no declínio dessas propriedades (Figura 4 A, B, C, D, E). Ressalta-se que esse comportamento não é padrão em todas as espécies e árvores, uma vez que, a madeira apresenta variações internas que são expressadas de diferentes formas ao longo do material, gerando uma variabilidade em suas propriedades.

Essa discussão é corroborada em estudos realizados por Valente et al. (2013), onde foram avaliadas as propriedades tecnológicas da *Anadenanthera peregrina* de idade desconhecida. Os autores observaram a redução da densidade básica ao longo do fuste, mas ao contrário do presente estudo, a retratibilidade não seguiu um padrão definido, variando ao longo das toras analisadas.

Apesar de não apresentarem diferença significativa ( $F \geq 0,05$ ) (Apêndice A1, A2, A3, A4, A5), é possível observar que o espaçamento 4 m x 4 m apresentou um comportamento superior na densidade e na retratibilidade linear e volumétrica da madeira quando comparado as mesmas propriedades aos demais espaçamentos, enquanto no espaçamento 3 m x 3 m observou-se comportamento inferior (Figura 4 A, B, C, D, E).

Nos espaçamentos mais amplos, a menor competição entre as árvores promoveu um melhor desenvolvimento do fuste, gerando toras com diâmetros maiores. Porém, Rocha (2011) ressalta que apesar desse ganho em volume do indivíduo, espaçamentos muito amplos podem gerar maiores proporções de lenho juvenil na madeira devido ao rápido crescimento, o que conseqüentemente, comprometeria as propriedades do material. A autora destaca ainda que no caso dos espaçamentos mais estreitos, a maior competição entre árvores por água, luz e nutrientes gera uma estagnação no desenvolvimento da madeira afetando sua qualidade final.

Em relação ao comportamento do grau de colapso (Figura 4 F) na madeira de angico-vermelho, foi possível observar que a análise de variância se mostrou significativa ( $F \leq 0,05$ ) em função da altura da árvore (Apêndice A6), evidenciando que a variável independente exerceu influência na variável dependente.

O grau colapso obtido foi classificado como moderado na base por apresentar valores abaixo de 3 mm, e severo ao longo do fuste devido seus valores que variaram entre 3 mm a 6 mm, de acordo descrição de Welling (1994). Essa ocorrência

demonstra uma relação entre a tendência do colapso e a tendência da densidade da madeira, pois, na medida em que houve a redução da densidade, aumentou-se o grau de colapso no material.

Esse resultado evidencia ainda que o aumento da temperatura promoveu uma incidência mais acentuada do colapso na madeira de angico-vermelho, indicando assim a necessidade do uso de temperaturas mais baixas ( $< 103 \pm 2^\circ\text{C}$ ) durante o processo de secagem no intuito de minimizar a ocorrência desse defeito no material, o que pode evitar a depreciação do valor da madeira jovem dessa espécie.

Os valores referentes às médias aritméticas da densidade do angico-vermelho variaram entre  $0,47 \text{ g cm}^{-3}$ ,  $0,63 \text{ g cm}^{-3}$  e  $0,56 \text{ g cm}^{-3}$  ( $3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ ,  $4 \text{ m} \times 4 \text{ m}$  e  $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ , respectivamente), sendo classificados como madeiras de baixa ( $\leq 0,50 \text{ g cm}^{-3}$ ) e média ( $0,50$  a  $0,72 \text{ g cm}^{-3}$ ) densidade de acordo com a classificação de Muñiz e Coradin (1991).

A retratibilidade linear e volumétrica foram proporcionais aos resultados obtidos para a densidade da madeira (Figura 4 B, E). As porcentagens médias mostraram que a retratibilidade axial foi inferior, variando entre 0,32% a 0,59% da base até o topo entre os três espaçamentos estudados. Já os valores da retratibilidade tangencial foram superiores aos que foram obtidos para retratibilidade no sentido radial, variando entre 3,79% a 8,33% e 1,49% a 4,81%, respectivamente.

Os resultados mostram que a retratibilidade tangencial (Figura 4 D) foi duas vezes superior aos valores médios obtidos para retratibilidade radial (Figura 4 C), enquanto a retratibilidade axial (Figura 4 B) se mostrou desprezível. Esse aspecto está associado às características anisotrópicas da madeira que são influenciadas pelas restrições dos raios na direção radial e pelo arranjo helicoidal diferente das microfibrilas nas paredes tangenciais e radiais que promovem desvios no curso normal das microfibrilas, causando variações nas orientações do lenho (KOLLMANN; COTÊ, 1968<sup>4</sup> citado por OLIVEIRA et al., 2010).

Os dados obtidos para a retratibilidade volumétrica (Figura 4 E) indicaram uma variação em um intervalo de 2,49% a 10,52% entre os espaçamentos. Esses valores são inferiores aos que foram encontrados por Docha et al. (2018) para madeiras jovens de *Anadenanthera peregrina* var. *falcata*, sendo a retratibilidade volumétrica média observada de 13,53%. De acordo com Glass e Zelinka (2010), os coeficientes de

---

<sup>4</sup> KOLLMANN, F. F. P.; COTÊ, W. A. **Principles of Wood Science and Technology**. New York: Springer-Verlag, v. 1, 1968.

variação da retratibilidade volumétrica variam próximos a 15%, sendo as madeiras acima dessa porcentagem limitadas para usos mais nobres, como na produção de móveis.

De modo geral, a retratibilidade linear e volumétrica apresentaram baixos valores médios nesse estudo, indicando que a madeira jovem de angico-vermelho não apresentou variações dimensionais que pudessem comprometer o processamento ou uso da madeira.

O fator anisotrópico obtido entre a razão da retratibilidade tangencial e retratibilidade radial apresentaram valores que variaram no intervalo de 1,86 a 2,54 para o espaçamento 3 m x 3 m, 1,67 a 1,75 para o espaçamento 4 m x 4 m e 1,69 a 1,93 para o espaçamento 5 m x 5 m, sendo os dois maiores espaçamentos os que apresentaram madeiras com qualidade satisfatória ao longo do fuste. O espaçamento 3 m x 3 m apresentou madeiras com qualidade normal até os discos com altura de 25%, sendo após essa posição denominadas como madeiras de qualidade média baixa de acordo classificação de Klitzke (2007).

De forma geral, madeiras que apresentam razão próximas de 1, indicam um material de excelente qualidade, o que facilita sua aplicação em diferentes setores. No caso das madeiras de baixa qualidade, há uma maior propensão a ocorrência de defeitos como rachaduras, empenamentos, trincas superficiais e outros, sendo a secagem mal conduzida responsável por favorecer o aparecimento dessas falhas, implicando na desvalorização do material (TRIANOSKI et al., 2013) para serrados, porém, podem ser utilizados na fabricação de painéis de partículas.

As análises efetuadas nos discos do DAP demonstraram o mesmo comportamento superior das propriedades físicas nos maiores espaçamentos, com exceção do grau de colapso que foi maior no espaçamento 3 m x 3 m. A densidade básica obtida foi de 0,49 g cm<sup>-3</sup>, 0,65 g cm<sup>-3</sup> e 0,60 g cm<sup>-3</sup> (3 m x 3 m, 4 m x 4 m e 5 m x 5 m, respectivamente), sendo esses valores inferiores aos dos discos da base.

Esse mesmo desempenho foi observado na retratibilidade linear e retratibilidade volumétrica, mantendo-se assim a tendência decrescente desse fenômeno na medida em que se aumenta a altura da árvore. O fator anisotrópico do DAP não gerou valores que influenciaram na classificação da qualidade da madeira ao longo do fuste, o que é favorável para o melhor aproveitamento do material.

Na Tabela 2 estão apresentados as equações estimadas para o comportamento das variações das propriedades físicas nos diferentes espaçamentos no sentido base-topo da árvore.

Tabela 2. Equações estimadas para as propriedades físicas estudadas para a madeira jovem de angico-vermelho nos diferentes espaçamentos de plantio à partir da Figura 4.

| PROPRIEDADES FÍSICAS                   | LEGENDA     | EQUAÇÃO#                          | R <sup>2</sup> |
|--|-------------|-----------------------------------|----------------|
| Densidade básica (g cm <sup>-3</sup> ) | ● (3 × 3 m) | $\hat{Y} = 0,528 - 0,124^{ns} x$  | 0,780          |
|  | ◆ (4 × 4 m) | $\hat{Y} = 0,652 - 0,056^{ns} x$  | 0,925          |
|  | ■ (5 × 5 m) | $\hat{Y} = 0,626 - 0,144^{ns} x$  | 0,988          |
| Retratibilidade axial (%)              | ● (3 × 3 m) | $\hat{Y} = 0,452 - 0,132^{ns} x$  | 0,979          |
|  | ◆ (4 × 4 m) | $\hat{Y} = 0,594 - 0,136^{ns} x$  | 0,986          |
|  | ■ (5 × 5 m) | $\hat{Y} = 0,57 - 0,184^{ns} x$   | 0,976          |
| Retratibilidade radial (%)             | ● (3 × 3 m) | $\hat{Y} = 3,324 - 2,032^{ns} x$  | 0,952          |
|  | ◆ (4 × 4 m) | $\hat{Y} = 4,792 - 1,4^{ns} x$    | 0,997          |
|  | ■ (5 × 5 m) | $\hat{Y} = 4,226 - 1,932^{ns} x$  | 0,931          |
| Retratibilidade tangencial (%)         | ● (3 × 3 m) | $\hat{Y} = 6,17 - 2,724^{ns} x$   | 0,918          |
|  | ◆ (4 × 4 m) | $\hat{Y} = 8,218 - 2,488^{ns} x$  | 0,984          |
|  | ■ (5 × 5 m) | $\hat{Y} = 7,816 - 3,744^{ns} x$  | 0,958          |
| Retratibilidade volumétrica (%)        | ● (3 × 3 m) | $\hat{Y} = 8,308 - 5,52^{ns} x$   | 0,976          |
|  | ◆ (4 × 4 m) | $\hat{Y} = 10,216 - 3,484^{ns} x$ | 0,962          |
|  | ■ (5 × 5 m) | $\hat{Y} = 9,5 - 5,316^{ns} x$    | 0,969          |
| Grau de colapso (mm)                   | ● (3 × 3 m) | $\hat{Y} = 3,06 + 1,56^* x$       | 0,955          |
|  | ◆ (4 × 4 m) | $\hat{Y} = 2,72 + 0,96^* x$       | 0,993          |
|  | ■ (5 × 5 m) | $\hat{Y} = 2,72 + 0,96^* x$       | 0,993          |

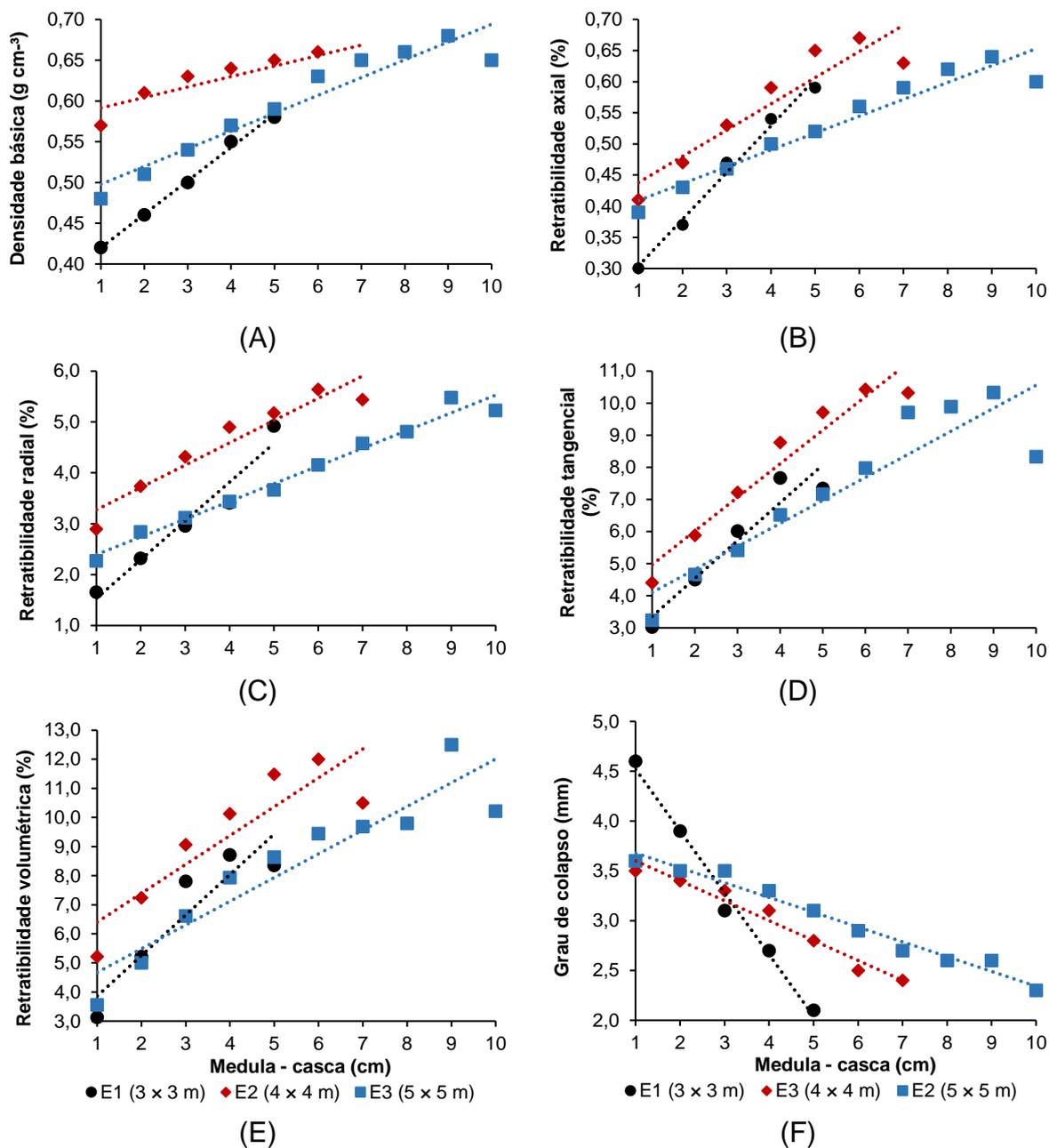
# ns: não significativo pela ANOVA da regressão ( $F > 0,05$ ), \* significativo pela ANOVA da regressão ( $F \leq 0,05$ ).

Conforme as equações (Tabela 2), observa-se que a regressão linear simples não foi significativa para a maioria das propriedades físicas da madeira jovem de angico-vermelho ( $F > 0,05$ ), com exceção do grau de colapso que apresentou significância ( $F \leq 0,05$ ). Esse comportamento demonstra uma relação linear negativa das variáveis físicas em função da altura da árvore, o que é resultante da heterogeneidade da madeira. Apesar do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) ser elevado para todas as propriedades físicas, a regressão não significativa impossibilita a estimação das variáveis no sentido base-topo.

A tendência observada para as propriedades físicas da madeira de angico-vermelho no sentido medula-casca apresentou, em geral, comportamento inverso aos resultados observados no sentido base-topo (Figura 5). A análise de variância se mostrou significativa ( $F \leq 0,05$ ) para a densidade básica e retratibilidade (axial, radial,

tangencial e volumétrica) (Apêndice B1, B2, B3, B4, B5), e não significativa ( $F > 0,05$ ) para o grau de colapso em função da posição dentro do disco (Apêndice B6).

Figura 5. Propriedades físicas da madeira de angico-vermelho no sentido medula-casca nos diferentes espaçamentos.



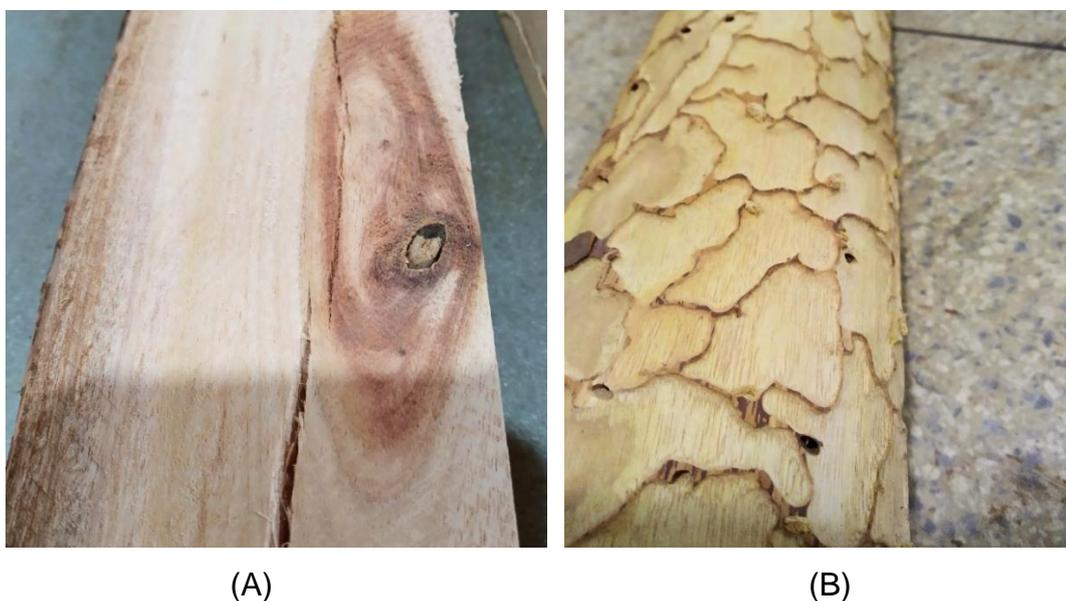
A tendência da densidade básica e da retratibilidade (Figura 5 A, B, C, D, E) nos três espaçamentos se mostraram crescentes na medida em que se aproximaram das regiões mais periféricas do disco, sendo esse comportamento reflexo da diferenciação celular que ocorre dentro do tronco.

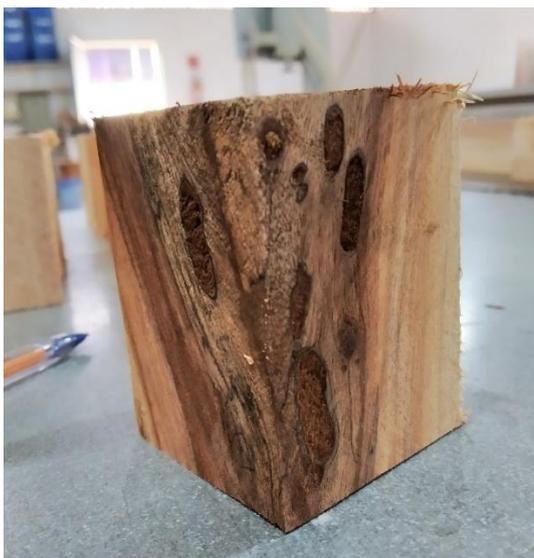
Esse fato é corroborado pelos trabalhos realizados por Ribeiro et al. (2014) para densidade básica do cedro australiano, e por Juizo et al. (2015) para densidade e retratibilidade da espécie *Pinus patula*. Os autores observaram o mesmo acréscimo no sentido medula-casca, e justificaram que as variações das propriedades analisadas foram resultantes da diferenciação celular que ocorre entre o lenho juvenil e lenho adulto, sendo esse aspecto observado no sentido longitudinal e radial da madeira.

Muitas espécies madeireiras apresentam variações mais marcantes de suas propriedades no sentido medula-casca, quando comparadas as propriedades obtidas no sentido da base até o topo. Vidaurre et al. (2011) explicam que nos primeiros anéis de crescimento, a madeira apresenta propriedades tecnológicas reduzidas que aumentam gradativamente com o desenvolvimento dos anéis sucessivos formados a partir do centro da árvore, promovendo características mais acentuadas na medida em que se distancia da medula.

No entanto, apesar do crescimento linear observado para a madeira de angico-vermelho no sentido medula-casca, nota-se um declínio dos pontos mais próximos da casca. Esse fato é justificado pelas diferenças diametrais dos discos que promoveram diferentes números de repetições. Além disso, corpos de prova foram excluídos devido a presença de defeitos como nós, rachaduras e ainda de galerias resultantes do ataque de brocas (Figura 6 A, B, C, D), o que poderia comprometer nos resultados reais das propriedades físicas nesse sentido (SILVA et al., 2020).

Figura 6. Presença de nós e rachaduras (A), galerias (B, C) e larvas de brocas (D) observadas na madeira jovem de angico-vermelho.





(C)



(D)

Fonte: A autora.

Apesar da densidade básica ter apresentado tendência crescente nas regiões mais periféricas da madeira, seu uso se torna limitado em alguns segmentos devido ao fator anisotrópico demonstrar valores crescentes na direção da medula até a casca, chegando a variar entre 1,83 a 2,25 (3 m × 3 m), 1,43 a 1,90 (4 m × 4 m) e 1,52 a 2,12 (5 m × 5 m), evidenciando uma instabilidade dimensional mais próxima da casca.

O mesmo comportamento foi observado por Cruz (2006) para madeiras de tauari vermelho. O autor associa os resultados verificados a maior presença de extrativos no cerne, e explica que a instabilidade dimensional tende a promover maiores danos a madeira na fase de secagem.

Em relação a tendência do grau de colapso da madeira (Figura 5 F), foi observado um comportamento decrescente da medula até as regiões mais periféricas dos discos. O mesmo aspecto foi observado por Chafe (1986) para madeiras de *Eucalyptus regnans* e Souza (2018) para madeiras de *Eucalyptus grandis*. Os autores afirmaram que as diferenças existentes nas posições radiais geram um aumento proporcional do colapso na medida em que se aumenta a umidade verde e se reduz a densidade básica.

Outro fator que pode explicar a tendência decrescente do colapso no sentido medula-casca é sobre o gradiente de secagem da madeira. Palermo (2010) abordou em estudos que um alto gradiente de secagem pode promover uma tensão irregular da célula, gerando contrações anormais na madeira.

Em geral, os resultados das propriedades físicas no sentido base-topo e medula-casca não demonstraram alterações relevantes em decorrência do desbaste e que pudesse influenciar na tendência das variáveis analisadas.

Tabela 3. Equações estimadas para as propriedades físicas estudadas para a madeira jovem de angico-vermelho nos diferentes espaçamentos de plantio, à partir da Figura 5.

| PROPRIEDADES FÍSICAS                   | LEGENDA     | EQUAÇÃO#                           | R <sup>2</sup> |
|--|-------------|------------------------------------|----------------|
| Densidade básica (g cm <sup>-3</sup> ) | ● (3 × 3 m) | $\hat{Y} = 0,379 + 0,041^* x$      | 0,996          |
|  | ◆ (4 × 4 m) | $\hat{Y} = 0,476 + 0,0218^* x$     | 0,917          |
|  | ■ (5 × 5 m) | $\hat{Y} = 0,5786 + 0,0129^* x$    | 0,798          |
| Retratibilidade axial (%)              | ● (3 × 3 m) | $\hat{Y} = 0,229 + 0,075^* x$      | 0,988          |
|  | ◆ (4 × 4 m) | $\hat{Y} = 0,382 + 0,0271^* x$     | 0,930          |
|  | ■ (5 × 5 m) | $\hat{Y} = 0,3957 + 0,0421^* x$    | 0,867          |
| Retratibilidade radial (%)             | ● (3 × 3 m) | $\hat{Y} = 0,771 + 0,761^* x$      | 0,950          |
|  | ◆ (4 × 4 m) | $\hat{Y} = 2,044 + 0,3484^* x$     | 0,978          |
|  | ■ (5 × 5 m) | $\hat{Y} = 2,8343 + 0,4386^* x$    | 0,910          |
| Retratibilidade tangencial (%)         | ● (3 × 3 m) | $\hat{Y} = 2,176 + 1,18^* x$       | 0,913          |
|  | ◆ (4 × 4 m) | $\hat{Y} = 3,384 + 0,7173^* x$     | 0,834          |
|  | ■ (5 × 5 m) | $\hat{Y} = 3,92 + 1,0479^* x$      | 0,938          |
| Retratibilidade volumétrica (%)        | ● (3 × 3 m) | $\hat{Y} = 2,465 + 1,393^* x$      | 0,847          |
|  | ◆ (4 × 4 m) | $\hat{Y} = 3,8573 + 0,815^* x$     | 0,866          |
|  | ■ (5 × 5 m) | $\hat{Y} = 5,4071 + 0,9925^* x$    | 0,785          |
| Grau de colapso (mm)                   | ● (3 × 3 m) | $\hat{Y} = 5,14 - 0,62^{ns} x$     | 0,989          |
|  | ◆ (4 × 4 m) | $\hat{Y} = 3,8267 - 0,1485^{ns} x$ | 0,973          |
|  | ■ (5 × 5 m) | $\hat{Y} = 3,8 - 0,2^{ns} x$       | 0,965          |

# ns: não significativo pela ANOVA da regressão ( $F > 0,05$ ), \* significativo pela ANOVA da regressão ( $F \leq 0,05$ ).

Conforme as equações (Tabela 3), observa-se que a regressão linear simples foi significativa para a maioria das propriedades físicas analisadas para a madeira jovem de angico-vermelho ( $F \leq 0,05$ ) no sentido medula-casca, com exceção do grau de colapso, indicando uma relação positiva das características físicas na medida em que se aproxima das regiões mais periféricas do tronco.

Apesar de não apresentar regressão significativa ( $F > 0,05$ ), os resultados do grau de colapso são importantes, pois demonstra que não há variação que promova a incidência desse defeito ao longo do diâmetro da árvore.

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi elevado para todas as propriedades físicas, demonstrando uma precisão e confiabilidade do modelo estatístico utilizado para estimar as variáveis da madeira de angico-vermelho no sentido medula-casca.

### 3.2 Propriedades mecânicas da madeira

Os valores médios das propriedades mecânicas da madeira de angico-vermelho a 12% de umidade estão apresentados na Tabela 4. De acordo com os resultados, verifica-se que houve diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) das variáveis analisadas entre os diferentes espaçamentos.

Tabela 4. Valores médios das propriedades mecânicas da madeira jovem de angico-vermelho (12% de umidade) em diferentes espaçamentos.

| PROPRIEDADES MECÂNICAS |                     |                     |                     |                   |                      |                       |                           |
|------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------------|----------------------|-----------------------|---------------------------|
| Espaçamento            | $f_{c0,m}$<br>(MPa) | $f_{v0,m}$<br>(MPa) | Flexão Estática     |                   | Dureza Janka         |                       |                           |
|                        |                     |                     | MOR<br>(MPa)        | MOE (GPa)         | Plano axial<br>(MPa) | Plano radial<br>(MPa) | Plano tangencial<br>(MPa) |
| 3 m x 3 m              | 51,24<br>(2,21) c   | 13,06<br>(1,69) c   | 97,46<br>(18,88) c  | 10,46<br>(1,20) c | 58,01<br>(9,25) c    | 43,08<br>(10,33) c    | 43,96<br>(10,41) c        |
| 4 m x 4 m              | 57,40<br>(4,48) a   | 19,06<br>(0,99) a   | 120,37<br>(10,77) a | 13,32<br>(0,61) a | 78,49<br>(5,07) a    | 71,54<br>(7,12) a     | 72,68<br>(7,41) a         |
| 5 m x 5 m              | 52,54<br>(3,00) b   | 15,97<br>(1,40) b   | 114,02<br>(13,07) b | 11,74<br>(1,37) b | 69,35<br>(9,18) b    | 59,39<br>(8,69) b     | 59,51<br>(13,89) b        |

$f_{c0,m}$ = resistência à compressão paralela às fibras;  $f_{v0,m}$ = resistência ao cisalhamento; MOR= módulo de ruptura; MOE= módulo de elasticidade. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si estatisticamente entre os espaçamentos pelo teste Tukey ( $p > 0,05$ ). Valor entre parênteses corresponde ao desvio padrão.

Verificou-se que as melhores respostas obtidas para as propriedades mecânicas são resultantes de madeiras oriundas dos espaçamentos mais amplos, sendo os valores mais pronunciados no espaçamento 4 m x 4 m. É possível constatar ainda que houve uma estreita relação entre a densidade básica e os resultados das variáveis mecânicas analisadas, pois os maiores valores médios de resistência foram decorrentes de madeiras de maior densidade.

Em relação ao resultado de cada resistência, nota-se que os valores médios apresentaram diferentes respostas quando comparados aos valores encontrados na literatura para a madeira de angico (Tabela 5).

Tabela 5. Propriedades mecânicas da madeira de angico encontrados na literatura.

| ESPÉCIE   | IDADE            | PROPRIEDADES MECÂNICAS                          | RESULTADOS | AUTORES                   |
|---|------------------|---|------------|---------------------------|
| <i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speg. (angico-vermelho) | Não identificado | Compressão paralela às fibras (MPa)             | 58,35      | Teixeira et al. (2011)    |
|   |                  | Cisalhamento (MPa)                              | 15,10      |                           |
|   |                  | Módulo de ruptura na flexão estática (MPa)      | 118,17     |                           |
|   |                  | Módulo de elasticidade na flexão estática (GPa) | 9,46       |                           |
|   |                  | Dureza axial (MPa)                              | 83,75      |                           |
|   |                  | Dureza radial (MPa)                             | 66,19      |                           |
|   |                  | Dureza tangencial (MPa)                         | 67,96      |                           |
| <i>Piptadenia macrocarpa</i> Benth. (angico-preto)          | Não identificado | Compressão paralela às fibras (MPa)             | 72,5       | Dias; Lahr (2002)         |
|   |                  | Cisalhamento (MPa)                              | 24,5       |                           |
|   |                  | Módulo de elasticidade na flexão estática (GPa) | 16,50      |                           |
|   |                  | Dureza radial (MPa)                             | 144,6      |                           |
|   |                  | Dureza tangencial (MPa)                         | 157,4      |                           |
| <i>Anadenanthera colubrina</i> (angico-brabo)               | Não identificado | Compressão paralela às fibras (MPa)             | 44,0       | Christoforo et al. (2017) |
|   |                  | Cisalhamento (MPa)                              | 15,0       |                           |
|   |                  | Módulo de elasticidade na flexão estática (GPa) | 15,78      |                           |
|   |                  | Dureza radial (MPa)                             | 61,0       |                           |
|   |                  | Dureza tangencial (MPa)                         | 70,0       |                           |

Fonte: Compilado pela autora.

Verificou-se que os resultados das propriedades mecânicas encontrados por Teixeira et al. (2011), com exceção do módulo de elasticidade, foram superiores aos valores obtidos para as madeiras nos espaçamentos 3 m x 3 m e 5 m x 5 m, estando os valores do espaçamento 4 m x 4 m próximos aos que foram encontrados para a espécie *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg.

De acordo os resultados do módulo de elasticidade e módulo de ruptura à flexão, destaca-se que as madeiras nos maiores espaçamentos apresentaram maior rigidez do que a madeira de *Anadenanthera peregrina* apresentada na Tabela 5. Esse desempenho evidencia um potencial uso da madeira jovem desbastada de angico-vermelho como componentes estruturais, para fins energéticos, moveleiros e entre outros.

No caso das madeiras do espaçamento 3 m x 3 m, o material pode ser utilizado na produção de painéis aglomerados, por exemplo, já que os valores de resistência

obtidos evidenciam o uso desse material para fins que demandam menos esforços mecânicos.

Em comparação aos resultados das propriedades mecânicas da espécie *Piptadenia macrocarpa* Benth., constatou-se uma maior resistência da madeira em relação ao angico-vermelho, sendo esse fato justificado pela maior densidade obtida para a espécie que foi de  $0,88 \text{ g cm}^{-3}$ .

A *Anadenanthera colubrina* apresentou resistência mecânica inferior à espécie do presente estudo, com exceção do módulo de elasticidade que foi superior aos três espaçamentos, e a dureza Janka no sentido radial e tangencial que apresentaram valores maiores do que os obtidos para os espaçamentos  $3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$  e  $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ , evidenciando assim uma variabilidade individual das espécies.

Destaca-se que fatores como a posição na árvore, teor de umidade, tempo de duração, sentido de aplicação da carga e estrutura anatômica da madeira são aspectos que geram variações das propriedades mecânicas do material, reforçando assim a importância do seu estudo (PFEIL; PFEIL, 2003; GONÇALVES et al., 2009; PEREIRA et al., 2016).

#### 4. CONCLUSÕES

As madeiras de angico-vermelho demonstraram potencial para uso industrial quando ainda jovens, sendo o material oriundo dos maiores espaçamentos mais indicado para fins que demandam alta resistência e rigidez.

As variações significativas das propriedades físicas observadas no sentido medula-casca evidenciam uma instabilidade da madeira mais próximo da medula devido a maior proporção de lenho juvenil, sendo recomendado a exploração da madeira nas regiões mais periféricas e que esteja isenta de qualquer tipo de defeito.

Espaçamentos mais amplos promoveram melhor desenvolvimento da madeira, gerando resultados expressivos para as propriedades físico-mecânicas do angico-vermelho.

O desbaste seletivo aplicado não demonstrou influência sobre a tendência das propriedades analisadas, o que é relevante, pois agrega valor à madeira resultante dessa prática.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., GONÇALVES, J. L. de. M., SPAROVEK, G., Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**. v. 22, n. 6, p. 711–728. 2013. Doi: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-143**: standard test methods for small clear specimens of timber. Annual Book of ASTM Standards. West Conshohocken, 2014. 31p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7190**: projeto de estruturas de madeira. Anexo B – Determinação das propriedades das madeiras para projetos de estruturas. Rio de Janeiro, 1997. 107p.

BENDTSEN, B. A.; SENFT, J. Mechanical and anatomical properties in individual growth rings of plantation grown eastern cottonwood and loblolly pine. **Wood and Fiber Science**, v. 18, n.11, p. 23-38, 1986.

CAMPOS, N.P.; CONEGLIAN, A. Mensuração do comprimento das fibras para determinação da madeira juvenil em *Tectona grandis*. In: II CONGRESSO DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO DA UEG, 2, Pirenópolis, 2015. **Anais..** Pirenópolis, 2015.

CHAFE, S.C. Radial variation of collapse, volumetric shrinkage, moisture content and density in *Eucalyptus regnans* F. Muell. **Wood Science and Technology**, v. 20, p. 253–262, 1986. Doi: <https://doi.org/10.1007/BF00350983>

CHRISTOFORO, A.L.; AFTIMUS, B.H.C.; PANZERA, T.H.; MACHADO, G.O.; LAHR, F.A.R. Physico-mechanical characterization of the *Anadenanthera colubrina* wood specie. **Engenharia Agrícola**, v. 37, n. 2, p. 376-384, 2017. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v37n2p376-384/2017>

CRUZ, G.K.A. **Variação longitudinal e transversal nas propriedades da madeira do tauari vermelho (*Cariniana micrantha* Ducke – Lecythidaceae)**. 2006. 73f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2006.

DIAS, A.C.C. **Qualidade da madeira e divergência genética de *Araucaria angustifolia* (Bertoni) O. Ktze**. 2017. 84f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, 2017.

DIAS, F.M.; LAHR, F.A.R. A densidade aparente como estimador de propriedades de resistência e rigidez da madeira. **Madeira: arquitetura e engenharia**, v. 3, n. 8, p. 1-54, 2002.

DOCHA, M.C.M.; LOPES, M.O.; MOREIRA, P.H.; NUNES, T.K.M.R.; ABRAHÃO, C.P. Variação radial das propriedades físicas da madeira de angico preto (*Anadenanthera*

*peregrina* var. *falcata*) jovem. In: III CONGRESSO INTERNACIONAL DAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS, 3, Castanhal, 2018. **Anais...** Castanhal: COINTER, 2018.

FURTADO, A.C.S.; RODRIGUES, A.; PAES, B.; BENTES, A.; ALMEIDA, R.; SANTOS, R.L. Influência do desbaste na densidade da madeira de espécies florestais. In: III CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA, 3, Florianópolis, 2017. **Anais...** Florianópolis: CBCTEM, 2017.

GLASS, S.V.; ZELINKA, S.L. Moisture relations and physical properties of wood. In: BERGMAN, R. (Orgs.). **Wood handbook**: wood as an engineering material. Madison: General Technical Report FPL-GTR-190, 2010, p. 1-4.

GONÇALVES, F.G.; OLIVEIRA, J.T.S.; DELLA LUCIA, R.M.; SARTORIO, R.B. Estudo de algumas propriedades mecânicas da madeira de um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 33, n. 3, p. 501-509, 2009. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622009000300012>

JUIZO, C.G.M.; LOIOLA, P.L.; ZEN, L.R.; MARCHESAN, R.; CARVALHO, D.E.; BILA, N.F.; EGAS, A.F.; ROCHA, M.P.; KLITZKE, R.J. Variação radial das propriedades físicas da madeira de *Pinus patula* plantados em Moçambique. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 83, p. 285-292, 2015. Doi: <https://doi.org/10.4336/2015.pfb.35.83.771>

KLITZKE, R. J. Secagem da madeira. In: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. (Org.). **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro**. Jerônimo Monteiro, ES: Suprema, 2007, p. 271-341.

LATREILLE, A.J.; WÜNSCH, D.G.; SOUZA, J.T.; TALGATTI, M.; SILVEIRA, A.G.; OLIVEIRA, L.H.; SANTINI, E.J. Propriedades físico-mecânicas em madeira de *Dipteryx alata*, *Astronium graveolens*, *Bowdichia virgilioides* e *Eucalyptus grandis*. **Revista Instituto Florestal**, v. 30, n. 2, p. 143-150, 2018. Doi: <http://dx.doi.org/10.24278/2178-5031.201830203>

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas nativas do Brasil. 2.ed. Nova Odessa: Editora Plantarum, 1992. 352p.

MOREIRA, L.S.; MOUTINHO, V.H.P. Densidade básica e resistência mecânica de madeiras de resíduos florestais da região amazônica. **Agroecossistemas**, v. 10, n. 2, p. 64-81, 2018. Doi: <http://dx.doi.org/10.18542/ragros.v10i2.5160>

MUÑIZ, G.I.B.; CORADIN, V.R. **Normas de procedimentos em estudo de anatomia da Madeira**: I – Angiospermae, II – Gimnospermae. Brasília: Laboratório de Produtos Florestais. 15, 1991. Série Técnica

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.

PALERMO, G.P.M. **Propriedades e comportamento tecnológico da madeira de Eucalyptus grandis W. Hill Ex-Maiden visando sua utilização em produtos de**

**maior valor agregado.** 2010. 237f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2010.

PEREIRA, J.M.S.; SATLER, G.M.; LIMA, J.S.S.; SEGUNDINHO, P.G.A. Avaliação de propriedades mecânicas da madeira de *Eucalyptus urograndis* secos. **Revista UniVap**, v. 22, n. 40, Edição Especial, p. 717-723, 2016. Doi: <http://dx.doi.org/10.18066/revistaunivap.v22i40.1484>

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de madeira.** 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003. 224p.

RIBEIRO, A.O.; MENDES, R.F.; MENDES, L.M.; MORI, F.A.; ZIECH, R.Q.S. Retratibilidade da madeira de *Toona ciliata* M. Roem proveniente de três municípios do sul de Minas Gerais. **Cerne**, v. 20, n. 3, p. 351-361, 2014. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/01047760201420031315>

ROCHA, M.F.V. **Influência do espaçamento e da idade na produtividade e propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus camaldulensis* para energia.** 2011. 71f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

SILVA, E.S.G.S.; GONÇALVES, F.G.; MARVILA, P.S.; JESUS, F.Q.; TRAZZI, P.A. Ataque de brocas em madeiras de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg. em diferentes espaçamentos. In: SIMPÓSIO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS, 1, Monte Carmelo, 2020. **Anais...** Monte Carmelo: SICAA, 2020.

SOUZA, C.O. **Potencial energético da madeira e carvão vegetal de angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina*) jovem.** 2018. 49f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2018.

SOUZA, P.H. **Biomassa e estoque de carbono em povoamento de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg sob diferentes espaçamentos.** 2018. 94f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2018.

SOUZA, P.P. **Avaliação e modelagem de colapso em madeiras de *Eucalyptus grandis*.** 2018. 58f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.

TEIXEIRA, B.M.R.; EVANGELISTA, W.V.; SILVA, J.C.; DELLA LUCIA, R.M. Avaliação radial e longitudinal das propriedades mecânicas e da massa específica básica da madeira de angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina* (L.) Speg.). **Scientia Forestalis**, v. 39, n. 92, p. 463-468, 2011.

TRIANOSKI, R.; MATOS, J.L.M.; IWAKIRI, S.; PRATA, J.G. Avaliação da estabilidade dimensional de espécies de pinus tropicais. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 3, p. 398-406, 2013. Doi: <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2012.071>

TRUGILHO, P.F.; LIMA, J.T.; MENDES, L.M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. *Cerne*, Lavras, v.2, n.1, p.15, 1996.

VALENTE, B.M.R.T.; EVANGELISTA, W.V.; SILVA, J.C.; DELLA LÚCIA, R.M. Variabilidade radial e longitudinal das propriedades físicas e anatômicas da madeira de angico-vermelho. **Scientia Forestalis**, v. 41, n. 100, p. 485-496, 2013.

VIDAURRE, G.; LOMBARDI, L.R.; OLIVEIRA, J.T.S.; ARANTES, M.D.C. Lenho Juvenil e adulto e as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 4, p. 469-480, 2011. Doi: <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2011.066>

VITAL, B.R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa: SIF, 1984. 21p. (Boletim Técnico, 1).

WELLING, J. **European Drying Group recommendation**: assessment of drying quality of timber. Pilot Edition (for Testing). 1994. 30p. Disponível em: <[http://www.timberdry.net/downloads/EDG/EDG-Recommendation\(eng\).pdf](http://www.timberdry.net/downloads/EDG/EDG-Recommendation(eng).pdf)>. Acesso em: 28 maio 2019.

## CAPÍTULO II

### EFICIÊNCIA DA COLAGEM EM MADEIRA JOVEM DE ANGICO-VERMELHO (*Anadenanthera peregrina* (L.) Speg.)

**Resumo:** Com o crescimento do setor madeireiro e aumento da demanda por madeira, técnicas têm sido adotadas no intuito de minimizar o consumo excessivo desse material, sendo a colagem o processo que visa o aproveitamento da madeira, viabilizando o uso de diversas espécies. O objetivo do presente trabalho foi avaliar a resposta da madeira de angico-vermelho à colagem com diferentes adesivos e em diferentes gramaturas. As amostras utilizadas para colagem foram produzidas conforme dimensões recomendadas por instrumento normativo. O material foi colado com os adesivos ureia-formaldeído, poliacetato de vinila, resorcinol-formaldeído e adesivo formulado com tanino ureia-formaldeído na proporção 20:80 (tanino:ureia), sendo os tratamentos realizados nas gramaturas de 200, 250, 300 e 350 g m<sup>-2</sup>. As amostras foram prensadas em temperatura ambiente (28°C) e após 15 dias foram submetidas a ensaio de resistência ao cisalhamento por tração para avaliar o comportamento da linha de cola. Análises químicas da madeira foram efetuadas para melhor entendimento da interação da madeira com o adesivo. De acordo com os resultados, verificou-se que não houve uma adesão satisfatória entre a madeira de angico-vermelho e os diferentes adesivos colados nas diferentes gramaturas, estando os valores médios de resistência ao cisalhamento na linha de cola abaixo do recomendado para uso comercial. O teor de extrativos e a densidade da madeira associadas a viscosidade dos adesivos promoveram uma interligação insuficiente, gerando peças coladas de qualidade inferior. A porcentagem de falha na madeira reforça o que foi observado na resistência ao cisalhamento, estando a porcentagem abaixo dos 60% recomendados conforme prescrições normativas, indicando que o rompimento ocorreu nos adesivos e não nas peças como esperado. Conclui-se que o uso da madeira de angico-vermelho promoveu juntas coladas de baixa qualidade, sendo os fatores intrínsecos ao material o que dificultou a adesão dos diferentes adesivos, gerando uma linha de cola fraca.

**Palavras-chave:** Resistência ao cisalhamento, adesivo, juntas coladas.

## CHAPTER II

### EFFICIENCY OF YOUNG WOOD COLLAGE OF RED-ANGICO (*Anadenanthera peregrina* (L.) Speg.)

**Abstract:** With the growth of the wood sector and increased demand for wood, techniques have been adopted in order to minimize the excessive consumption of this material, with bonding being the process that aims to use wood, making possible the use of several species. The objective of the present work was to evaluate the efficiency of red-angico wood when bonding with different adhesives and in different weights. The samples used for bonding were produced according dimensions recommended by a normative instrument. The material was bonded with the urea-formaldehyde, vinyl polyacetate, resorcinol-formaldehyde and tannin urea-formaldehyde in the proportion 20:80 (tannin:urea), with the treatments being carried out at weights of 200, 250, 300 and 350 g m<sup>-2</sup>. The samples were pressed at environment temperature (28°C) and after 15 days they were subjected to tensile shear strength test to evaluate the behavior of the glue line. Chemical analyzes of the wood were performed to better understanding the interaction of the wood with the adhesive. According to the results, it was found that there was not a satisfactory adhesion between the red-angico wood and the different adhesives glued in the different weights, with the average values of shear strength in the glue line below that recommended for commercial use. The content of extractives and the density of the wood associated with the viscosity of the adhesives promoted an insufficient interconnection, generating glued pieces of inferior quality. The percentage of wood failure reinforces what was observed in shear strength, with the percentage below the 60% recommended according to normative prescriptions, indicating that the break occurred in the adhesives and not in the parts as expected. It is concluded that the use of red-angico wood promoted low quality glued joints, being the intrinsic factors to the material what hindered the adhesion of the different adhesives, generating weak glue line.

**Keywords:** Shear strenght, adhesive, glued joints.

## 1. INTRODUÇÃO

A colagem de madeira é uma técnica antiga já consolidada pela indústria madeireira e que tem a finalidade de minimizar o consumo excessivo desse material, sendo uma das vantagens do seu uso a menor exigência da qualidade inicial da matéria-prima e o reaproveitamento de madeiras que geralmente são descartadas.

Essa técnica é dependente da interação da madeira com o adesivo e envolve princípios físico-químicos que são responsáveis por promover uma reação que resulta na movimentação da resina no aderente, levando a formação de ganchos ou pontos de ancoragem entre as peças coladas (PRIMO; LIMA, 2017). Esses princípios são relativos as características físicas e químicas da madeira e do adesivo, e devem ser considerados durante o processo de colagem para melhor entendimento dos seus mecanismos de reação.

Em relação as propriedades do adesivo, as características inerentes ao pH, viscosidade, tempo de gelatinização e teor de substâncias sólidas são determinantes para uma adequada adesão com a madeira. As resinas sintéticas (ureia, fenol, melamina, resorcinol, isocianato e poliacetato de vinila) e a base de formulações com tanino, são as mais utilizadas comercialmente devido as suas propriedades que possibilitam uma penetração satisfatória na madeira (ALMEIDA et al., 2010; SOUZA et al., 2017).

A madeira apresenta características que influenciam na mobilidade e penetrabilidade do adesivo, sendo os componentes químicos, tais como: pH, teor de extrativos e teor de cinzas os que conferem uma reatividade com a resina, garantindo uma linha de cola resistente e gerando peças coladas de qualidade (PIZZI, MITTAL, 2003). Portanto, esses atributos favorecem o desempenho da colagem e possibilitam a inserção de madeiras de outras espécies no segmento madeireiro.

O angico-vermelho é uma das espécies promissoras da indústria madeireira que se destaca devido a sua aplicabilidade em diversos segmentos, sendo o desempenho da sua madeira na produção de juntas coladas pouco abordado. Em vista desse contexto, o presente estudo objetivou avaliar o desempenho da madeira jovem de angico-vermelho na colagem com uso de adesivos comerciais em diferentes gramaturas, visando a sua inserção no mercado de juntas coladas e o melhor aproveitamento da madeira.

## **2. METODOLOGIA**

### **2.1 Preparo do material para colagem**

A madeira utilizada para o processo de colagem foi obtida da segunda tora de cada árvore proveniente de dois espaçamentos, 4 m x 4 m e 5 m x 5 m (árvores com maior diâmetro). Esse material foi desdobrado, e posteriormente, transformado em taliscas com dimensões iniciais de 42 cm x 2,54 cm x 0,5 cm (comprimento x largura x espessura).

As peças que apresentaram alguma irregularidade como nós, empenamentos ou galerias resultantes do ataque de brocas foram descartadas para que a resistência na linha de cola não fosse comprometida.

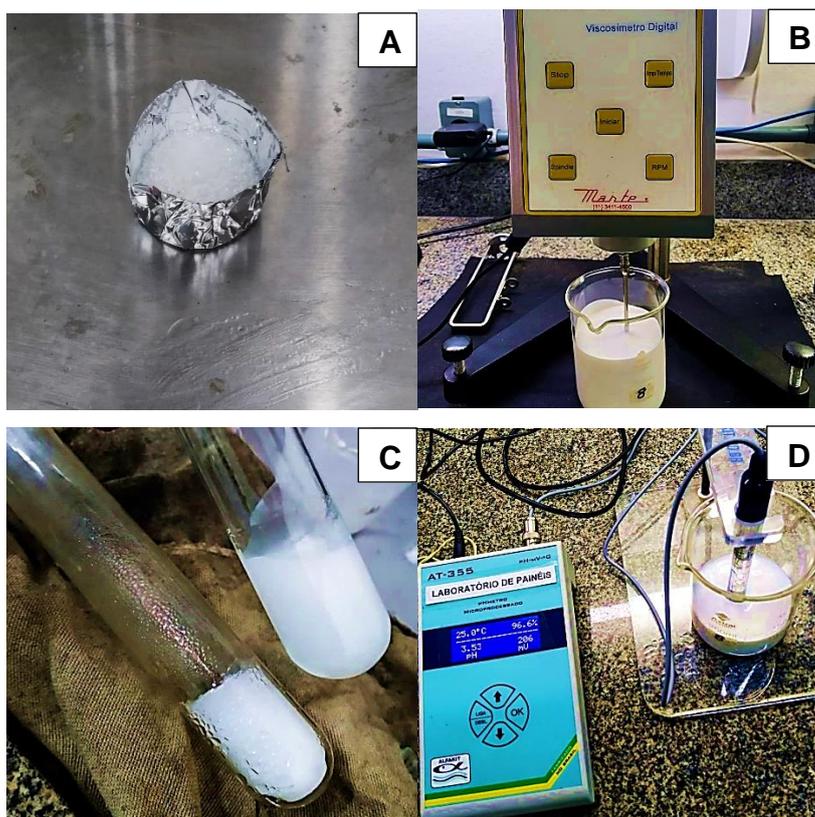
Depois de transformadas em taliscas, as amostras foram armazenadas em câmara de climatização (Eletrolab, EL011, São Paulo, Brasil) a  $25 \pm 2^\circ\text{C}$  e  $65 \pm 5\%$  de UR até estabilização da umidade.

### **2.2 Caracterização dos adesivos e colagem das taliscas**

Para o processo de colagem, utilizaram-se os adesivos ureia-formaldeído (UF), poliacetato de vinila (PVA), resorcinol-formaldeído (RF) e adesivo com composição de 80% de resina UF + 20% de uma solução tânica com 50% de sólidos (TUF), sendo os tratamentos efetuados nas gramaturas de 200, 250, 300 e 350 g m<sup>-2</sup>.

A caracterização de cada adesivo foi efetuada antes de sua efetiva aplicação nas superfícies do material a ser colado, sendo avaliada a viscosidade, pH, teor de formação de gel e teor de sólidos (Figura 1 A, B, C, D).

Figura 1. Caracterização do teor de sólidos (A), viscosidade (B), tempo de gel (C) e pH (D) dos adesivos.



O teor de sólidos dos adesivos (%) foi determinado mediante a razão entre massa final (g) e massa inicial (g). Foram utilizadas amostras de aproximadamente 2,0 g de adesivo que foram colocadas em cadinhos de peso conhecido e submetidas à estufa sob temperatura de  $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas. Após esse período, as amostras foram resfriadas em dessecador e novamente pesadas (Figura 1 A).

A viscosidade dos adesivos foi determinada de acordo a norma D-1084 (ASTM, 1998), por meio de viscosímetro digital (Marte, MVD-8), com uso das hastes 2 (PVA) e 3 (UF e TUF), e velocidade de 3 rpm (PVA), 6 rpm (TUF) e 30 rpm (UF) em amostras de aproximadamente 300 mL. Os resultados obtidos através desse equipamento foram expressos em milipascal segundo (mPa.s) (Figura 1 B).

O tempo de gel da resina foi determinado conforme descrito por Brito (1995). Para obtenção do tempo de gel da ureia-formaldeído. Foi utilizado o composto sulfato de amônia ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ) a 24% em proporção de 2% sobre o teor de sólidos. O tempo de gel do adesivo TUF, foi obtido por meio da adição de formaldeído (catalisador) na proporção de 20% sobre o teor de sólidos.

Após homogeneização, os adesivos foram colocados em tubos de ensaio (1 g de adesivo), e posteriormente, submetidos a banho-maria à temperatura de  $90^{\circ}\text{C}$  onde

foram agitados com um bastão de vidro. O tempo foi cronometrado a partir da imersão do tubo de ensaio em água quente e o cronômetro desligado no momento em que a amostra atingiu o endurecimento parcial (Figura 1 C).

O pH dos adesivos foi determinado por meio de um pHmetro digital (Alfakit, AT-355) que foi calibrado a pH 4, 7 e 10 utilizando-se soluções tampão padronizadas. A mensuração foi efetuada em temperatura de 25°C e o valor do pH foi obtido por meio do contato do eletrodo com a solução (Figura 1 D).

Após a caracterização dos adesivos, as taliscas de angico-vermelho foram coladas umas nas outras, sendo os adesivos distribuídos nas peças com uma espátula, para posterior formação das juntas e prensagem em uma prensa hidráulica manual (Bovenau, SL-12/150) com capacidade de 15 toneladas, durante 24 horas em temperatura ambiente com uma pressão de 1,2 MPa (Figura 2). Após a colagem, as taliscas foram acondicionadas durante 15 dias na câmara de climatização para uniformidade da umidade.

Figura 2. Preparo das amostras e prensagem das juntas coladas.



A – Aplicação do adesivo e montagem das lamelas coladas; B – Colocação das taliscas coladas na prensa; C – Prensagem das juntas coladas.

### 2.3 Ensaio de resistência ao cisalhamento na linha de cola

O ensaio de resistência ao cisalhamento na linha de cola foi realizado após os elementos colados e já climatizados serem redimensionados conforme a ASTM D-2339 (2020), sendo a prática efetuada em máquina universal de ensaio (EMIC, DL 10000). Essa resistência foi determinada conforme critérios da ABNT NBR 7190 (1997), que estabelece que a resistência média das juntas coladas deve ser no mínimo

igual a resistência característica da madeira ao cisalhamento, no teor de umidade padrão de 12%, sendo os resultados ajustados por meio da equação 2.

$$F_{12} = F_{u\%} \left[ 1 + \frac{3(U\% - 12)}{100} \right] \quad (2)$$

Para análise do percentual de falha na madeira, foi aplicado a metodologia descrita por Buligon (2011), onde foi utilizada uma película transparente quadriculada (10 linhas x 10 colunas) que foi disposta sobre a área colada submetida ao cisalhamento. Esse percentual foi determinado conforme critérios estabelecidos na norma ASTM D-5266 (2020), que exige um valor médio superior a 60% de falha na madeira.

#### 2.4 Caracterização química da madeira

Para melhor entendimento sobre a interação dos adesivos com as taliscas, foram efetuadas análises sobre as características químicas da madeira oriunda dos dois espaçamentos em estudo. Essas análises foram efetuadas nos discos do DAP (Diâmetro a Altura do Peito), que foram submetidos à serra circular para transformação em cavacos. Os cavacos foram triturados em moinho de martelo (Tigre, ASN 45/11) para obtenção de pequenas partículas, e em seguida, disposto em moinho de facas tipo Willey (Tecnal, TE-650) para geração de serragem. A serragem obtida foi peneirada em peneiras de 40 e 60 *mesh*, sendo a fração retida utilizada para determinação do teor de cinzas e teor de extrativos da madeira, respectivamente.

Para o teor de extrativos, utilizou-se 2,0 g de partículas de madeira (base seca) que foram transferidos para o extrator Soxlet com uma solução de álcool:tolueno (1:2 v.v.) por um período de 5 horas, seguido por um período de extração de 4 horas para o álcool e em água quente por 1 hora. Os resíduos resultantes da evaporação do solvente em estufa a 40 – 60°C foram pesados, e o teor de extrativos foi obtido pela diferença em relação à massa inicial do material (TAPPI, 1996; CHAVES, 2018).

Para determinação do teor de cinzas, foram utilizados 2,0 g (base seca) de partículas que foram dispostas em cadinhos de porcelana, onde após identificação, foram calcinados em mufla elétrica (Jung, LF02312) a 575°C durante 6 horas, sendo as 3 primeiras horas em armazenamento com tampa, e sem tampa nas 3 horas

restantes. Após esse período, as amostras permaneceram dentro da mufla por um período de 8 horas para resfriamento parcial, e em seguida, o material foi alocado para o dessecador para resfriamento total. Após resfriamento, as amostras incineradas foram pesadas em balança analítica (Bel, M214Ai), e a porcentagem do teor de cinzas foi determinada pela diferença em relação ao peso inicial.

Para determinação do pH e da capacidade tampão, foi utilizada a metodologia descrita por Almeida (2009) e Santiago (2016), onde foram solubilizados 5,0 g de partículas (base seca) da madeira em 150 mL de água destilada, sob refluxo (100°C) por 20 minutos, e à temperatura ambiente ( $25 \pm 2^\circ\text{C}$ ), sendo o material disposto na mesa agitadora por 24 horas. Posteriormente, 50 mL de extratos aquosos foram pipetados em um *becker* após calibração do pH-metro digital para obtenção do pH. O pH inicial foi obtido, e em seguida, realizou-se na mesma solução uma titulação com solução de NaOH 0,001N até elevar o pH a 7,0, determinando assim a capacidade tampão ácida em  $\text{mmol L}^{-1}$  que foram convertidos em  $\text{mmol NaOH 5 g}^{-1}$ .

## 2.5 Análise estatística dos dados

O delineamento estatístico adotado foi o inteiramente casualizado (DIC), conduzido em esquema fatorial  $4 \times 4$ , sendo considerados a gramatura de cola em quatro níveis (200, 250, 300 e  $350 \text{ g m}^{-2}$ ) e tipo de adesivo em quatro níveis (UF, PVA, RF e TUF). Para cada tratamento foram realizadas quatro repetições.

Os dados referentes a resistência ao cisalhamento na linha de cola foram avaliados quanto as pressuposições da homogeneidade de variância (teste de Cochran,  $p < 0,05$ ) e normalidade dos erros experimentais (teste de Shapiro-Wilk,  $p < 0,05$ ) por meio do software SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*, versão 22.0, IBM, Armonk, NY, EUA).

Atendidas essas pressuposições, realizou-se a análise de variância pelo teste F no intuito de verificar a existência de diferenças significativas nos tratamentos. O teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) foi aplicado para que as médias obtidas fossem comparadas, sendo essas análises efetuadas por meio do *software* Sisvar (Versão 5.6, Lavras, MG, Brasil).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Características dos adesivos

Os valores médios referentes a caracterização dos diferentes adesivos estão apresentados na Tabela 1. De acordo os resultados, observa-se que houve uma variação do pH da faixa ácida a básica, sendo o tanino + ureia-formaldeído 20:80 e o poliacetato de vinila os adesivos que apresentaram comportamento ácido, enquanto a ureia-formaldeído e o resorcinol-formaldeído os que apresentaram comportamento alcalino.

Tabela 1. Valores médios do pH, teor de sólidos totais (TST), viscosidade e tempo de gel dos adesivos.

| ADESIVOS | pH   | TST (%) | VISCOSIDADE (mPa.s) | TEMPO DE GEL (s) |
|----------|------|---------|---------------------|------------------|
| UF#      | 7,98 | 58,15   | 2.412,4             | 150,0            |
| TUF      | 5,54 | 59,50   | 15.298,0            | 475,0            |
| RF       | 7,68 | 66,61   | 843,3               | -                |
| PVA      | 3,63 | 44,89   | 5.770,2             | -                |

# UF: Ureia-formaldeído; TUF: tanino + ureia-formaldeído 20:80; RF: resorcinol-formaldeído; PVA: poliacetato de vinila.

Os valores médios do pH estão dentro dos limites recomendados para os adesivos, que é na faixa de 2,5 a 11. Silva et al. (2019) explica que o pH acima desse limite pode resultar na degradação das fibras da madeira, enquanto o pH abaixo do estabelecido pode promover a formação excessiva de espuma na mistura, prejudicando a aplicação do adesivo.

Segundinho et al. (2017) ressalta ainda que o conhecimento do pH do adesivo é necessário, e destaca que os valores do pH dos adesivos devem estar próximos ao pH das madeiras a serem coladas, o que reflete na qualidade da linha de cola.

Em relação ao teor de sólidos, verifica-se que o resorcinol-formaldeído apresentou valor médio superior (66,61%), e o PVA apresentou valor médio inferior (44,89%) quando comparado aos demais adesivos (Tabela 1), sendo esse resultado similar ao observado por Bianche (2014), que obteve valores médios de 70 e 45%, para o resorcinol-formaldeído e para o PVA, respectivamente.

O teor de sólidos implica diretamente na adesão entre a madeira e o adesivo, sendo a baixa porcentagem dessa propriedade um dos fatores que influenciam na menor resistência na linha de cola. Além disso, o baixo teor de sólidos atua no tempo

de prensagem das juntas coladas, já que promove um aumento do tempo de cura do adesivo, demandando maior tempo na prensa.

A escassez de sólidos no adesivo também pode levar a delaminação da peça colada, o que é resultante da liberação excessiva de voláteis durante a prensagem, promovendo assim uma inadequada ancoragem do adesivo (ALMEIDA, 2009; MENDONZA et al., 2017).

Verifica-se com os dados obtidos para a viscosidade, que o adesivo a base de tanino + ureia-formaldeído (20:80) apresentou valor médio superior (15.298 mPa.s), seguido dos adesivos PVA (5770,2 mPa.s) e resorcinol-formaldeído (2.412,4 mPa.s) que também apresentaram alta viscosidade. Esse comportamento é um fator negativo para a colagem, pois uma viscosidade elevada pode dificultar a penetração da resina na madeira, gerando assim uma linha de cola mais espessa.

Conforme afirmado por Gonçalves e Lelis (2009), a viscosidade acima de 1500 mPa.s dificulta sua aplicação na madeira, o que compromete o desempenho da colagem, gerando juntas coladas de baixa qualidade.

Destaca-se ainda, que além da viscosidade elevada promover insuficiência da interligação do sistema madeira-adesivo, a viscosidade muito baixa também pode implicar no sistema de ligação das juntas coladas, levando a uma maior penetração e absorção do adesivo pela madeira, formando uma linha de cola faminta, resultando em uma colagem de baixo desempenho (IWAKIRI, 2005; ENDO et al., 2017).

Os dados da Tabela 1 demonstram que a ureia-formaldeído obteve um tempo de gel inferior ao observado para o adesivo formulado com tanino, sendo a formulação desse componente com a ureia, responsável por promover um aumento do tempo de gelatinização do adesivo.

O mesmo comportamento foi observado por Gonçalves e Lelis (2009), que constataram um ligeiro aumento do tempo de gel na medida em que se acrescentou maiores quantidades de tanino de *Acacia mearnsii* à resina. Os autores explicam que provavelmente, o aumento ocorreu devido ao fato deste tanino apresentar um baixo valor de pH, provocando reações com a ureia-formaldeído que bloquearam os grupos metilol da resina, impedindo em parte a polimerização.

De modo geral, um tempo de gel longo demanda um maior tempo de prensagem, o que implica na produção de peças coladas. Em contrapartida, o tempo de gel curto, pode dificultar na hora de aplicação e espalhamento do adesivo na

madeira, devido a sua rápida polimerização, provocando queda na resistência da linha de cola (CARNEIRO, 2006; BIANCHE et al., 2017)

### 3.2 Características química da madeira

O comportamento das características químicas da madeira de angico-vermelho oriundas de diferentes espaçamentos está apresentado na Tabela 2. De acordo com os resultados, houve diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) do teor de extrativos totais e teor de cinzas da madeira entre os espaçamentos.

Tabela 2. Valores médios das características químicas da madeira de angico-vermelho em diferentes espaçamentos.

| ESPAÇAMENTO | EXTRATIVOS TOTAIS (%)      | TEOR DE CINZAS (%) |
|-------------|----------------------------|--------------------|
| 4 m x 4 m   | 15,3 (0,05) b <sup>#</sup> | 0,80 (0,00) b      |
| 5 m x 5 m   | 16,0 (0,22) a              | 0,98 (0,02) a      |

<sup>#</sup> Médias seguidas pela letra diferente na coluna diferem estatisticamente (Tukey,  $p \leq 0,05$ ). Valor entre parênteses corresponde ao desvio padrão.

O teor de extrativos da madeira do espaçamento 5 m x 5 m foi superior ao que foi obtido para a madeira do espaçamento 4 m x 4 m, sendo ambos os valores, superiores ao que foi encontrado por Paes et al. (2013) e Souza (2018), que obtiveram um teor de extrativos totais de 9,66% para a espécie *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan. var. *cebil* (Gris.) Alts.), e 9,19% e 10,36% para a espécie *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg nos espaçamentos 4 m x 4 m e 5 m x 5 m, respectivamente.

Esse resultado indica que o teor de extrativos da madeira de angico-vermelho pode ser um fator negativo para a colagem, pois valores acima de 10% podem implicar na má penetração do adesivo na madeira, reduzindo a resistência da ligação adesiva.

Destaca-se, que madeiras com alto teor de extrativos tendem a promover uma colagem menos eficiente, gerando a produção de peças de baixa qualidade. Além disso, o elevado teor de extrativos pode dificultar a passagem de água, o que retarda a sua taxa de evaporação, resultando em um aumento do tempo de prensagem necessário (HSU, 1997<sup>5</sup> citado por MENDES; ALBUQUERQUE, 2000; IWAKIRI, 2005; FRIHART; HUNT, 2010; BUFALINO et al., 2012).

<sup>5</sup> HSU, W. E. Wood quality requirements for panel products. In: INTERNATIONAL WOOD QUALITY WORKSHOP, 1, Oregon, 1997. **Resumos...** Oregon: CTIA/IUFRO, 1997.

A porcentagem obtida para o teor de cinzas demonstra o mesmo desempenho observado para o teor de extrativos totais, sendo as madeiras do espaçamento 5 m x 5 m as que apresentaram maior valor médio em relação as madeiras do espaçamento 4 m x 4 m (Tabela 2).

Verifica-se que o teor de cinzas de ambas as madeiras atingiu porcentagens acima do que normalmente é encontrado, que é de 0,5%. Alguns autores explicam, que apesar das cinzas não influenciarem diretamente na performance da ligação adesiva, seu alto teor pode influenciar no pH e nas características de usinabilidade da madeira devido a presença de minérios como a sílica, o que causa desgastes excessivos nas ferramentas de corte (BROWING, 1963<sup>6</sup> citado por TRIANOSKI, 2012).

Em relação ao desempenho do pH e da capacidade tampão das madeiras, observa-se que houve diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre os ambientes estudados (Tabela 3), estando o pH da madeira de ambos os espaçamentos agrupados na faixa de pH ácido por apresentarem valores inferiores a 7.

Tabela 3. Valores médios de pH e capacidade tampão ácida para cada ambiente, com solubilização das amostras em água quente e água em temperatura ambiente.

| ESPAÇAMENTO | pH            |               | CAPACIDADE TAMPÃO ÁCIDA (mmolNaOH/5 g <sup>-1</sup> ) |                |
|-------------|---------------|---------------|---|----------------|
|             | AMBIENTE      | AQUECIDA      | AMBIENTE  | AQUECIDA       |
| 4 m x 4 m   | 5,54 (0,02) a | 6,17 (0,13) b | 0,007 (0,00) b  | 0,002 (0,00) b |
| 5 m x 5 m   | 5,19 (0,05) b | 6,27 (0,04) a | 0,009 (0,00) a  | 0,005 (0,00) a |

# Médias seguidas por letra diferente na coluna diferem estatisticamente (Tukey,  $p \leq 0,05$ ). Valor entre parênteses corresponde ao desvio padrão.

Essa faixa de pH é tida como apropriada, já que madeiras desse caráter são mais indicadas para colagem com adesivos a base de ureia que também possuem o pH levemente ácido quando comparada a adesivos a base de fenol (ALBUQUERQUE, 2005).

Verifica-se ainda que houve uma variação no comportamento do pH em relação ao ambiente de solubilização, sendo o pH das madeiras do espaçamento 4 m x 4 m superior quando solubilizados em temperatura ambiente, e as madeiras do espaçamento 5 m x 5 m superiores quando solubilizados em temperatura aquecida.

<sup>6</sup> BROWNING, B.L. **The chemistry of wood**. New York: John Wiley e Sons, 1963. 689p.

Esse desempenho pode ter sido ocasionado pelo sistema de cultivo das árvores ou pelas condições de crescimento do indivíduo.

A capacidade tampão ácida é o parâmetro que verifica a capacidade que a solução tem para resistir a variação do pH do meio (ALMEIDA, 2009; GONÇALVES; LELIS, 2012). De acordo os dados obtidos (Tabela 3), observa-se que assim como o pH, as madeiras do espaçamento 5 m x 5 m apresentaram capacidade tampão ácida superior, tanto em solubilização em água à temperatura ambiente quanto em água aquecida.

Os resultados indicam que para a madeira de ambos os espaçamentos, a quantidade de mmol NaOH 5 g<sup>-1</sup> utilizada foi suficiente para neutralizar o pH. De modo geral, tanto o pH quanto a capacidade tampão obtida podem promover a cura ideal do adesivo, excluindo assim a necessidade de adição de maiores quantidades de catalisadores ácidos para alteração do pH.

### **3.3 Ensaio de resistência ao cisalhamento em peças coladas**

Após efetuado todo o processo de colagem das taliscas, as peças foram submetidas ao redimensionamento de acordo com a instrução normativa para realização dos ensaios de resistência ao cisalhamento. Foi observado durante o corte das amostras, que boa parte das peças coladas a base de PVA e tanino + ureia-formaldeído 20:80 delaminaram, evidenciando uma colagem de baixa qualidade.

Com as análises estatísticas, foi possível avaliar melhor o desempenho da colagem. De acordo a análise de variância, constatou-se que houve diferença significativa ( $p > 0,05$ ) na interação adesivo e gramatura (Apêndice C1).

A comparação das médias efetuadas para a resistência ao cisalhamento por tração para os quatro adesivos nas diferentes gramaturas consta na Tabela 4.

De modo geral, verifica-se que as diferentes gramaturas influenciaram na colagem das peças, sendo o maior valor para resistência ao cisalhamento obtido em madeiras coladas com ureia-formaldeído em gramatura de 350 g m<sup>-2</sup>, atingindo valor médio máximo de 4,00 MPa (Tabela 4).

Tabela 4. Valores médios da resistência ao cisalhamento por tração em madeiras de angico-vermelho coladas com diferentes adesivos e diferentes gramaturas.

| ADESIVOS        | RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO POR TRAÇÃO (MPa) |          |           |          |
|-----------------|--|----------|-----------|----------|
|                 | GRAMATURA (g m <sup>-2</sup> )               |          |           |          |
|                 | 200  | 250      | 300       | 350      |
| UF <sup>#</sup> | 2,31 aB                                      | 3,26 aAB | 3,17 aAB  | 4,00 bA  |
| RF              | 2,47 aB                                      | 3,46 aA  | 2,81 abAB | 3,43 bAB |
| PVA             | 1,65 abB                                     | 1,64 bB  | 2,41 abAB | 3,19 bA  |
| TUF             | 0,75 bA                                      | 0,77 bA  | 1,95 bA   | 1,10 aA  |

#UF= Ureia-formaldeído; RF= resorcinol-formaldeído; PVA= poliacetato de vinila; TUF= tanino + ureia-formaldeído 20:80. Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem estatisticamente (Tukey,  $p > 0,05$ ).

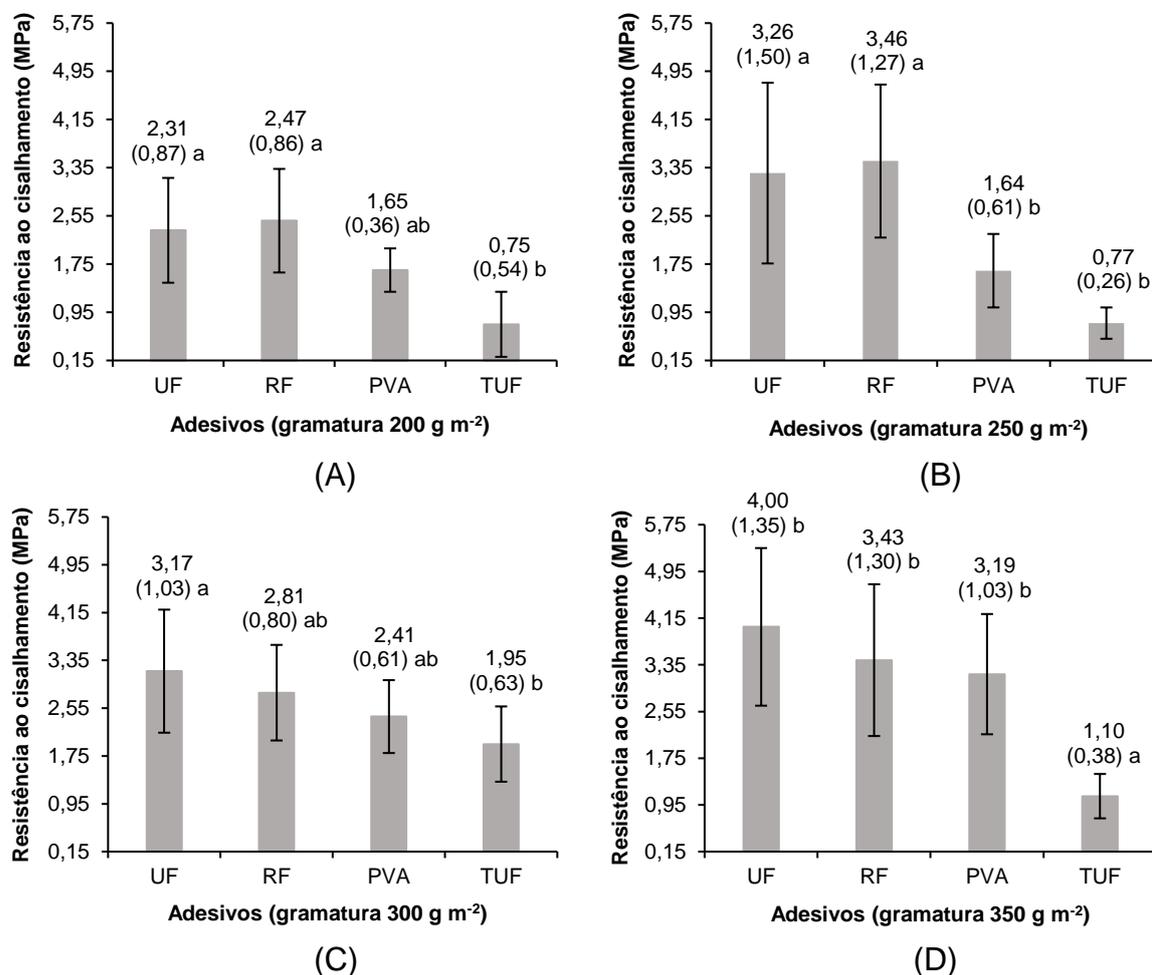
O mesmo desempenho da ureia-formaldeído em função da gramatura foi observado por Boa et al. (2014), que verificaram uma maior resistência ao cisalhamento na linha de cola em madeiras coladas com ureia na gramatura de 350 g m<sup>-2</sup>.

Por meio dos resultados (Tabela 4) é possível constatar que os adesivos que apresentaram pH na faixa alcalina (ureia-formaldeído e resorcinol-formaldeído) obtiveram uma melhor resistência quando comparados aos adesivos com pH na faixa ácida (PVA e tanino + ureia-formaldeído 20:80). Esse comportamento é justificado pela capacidade que os adesivos alcalinos possuem de desobstruir superfícies “contaminadas”, melhorando a penetração do adesivo.

Destaca-se, que o alto teor de extrativos obtidos para as madeiras dos dois espaçamentos estudados dificultou a adesão dos adesivos com pH ácido, gerando uma colagem de baixa qualidade. Além disso, a viscosidade dos adesivos (Tabela 1) também foi um fator que resultou na má colagem das peças, causando uma interligação insuficiente do sistema madeira-adesivo.

As figuras apresentadas a seguir, ilustram o desempenho da resistência ao cisalhamento das juntas coladas com diferentes adesivos e em diferentes gramaturas, como observado na Tabela 4. A figura 1 demonstra o comportamento da resistência dos diferentes adesivos nas mesmas gramaturas, enquanto a figura 2 ilustra o desempenho da resistência de cada adesivo nas diferentes gramaturas.

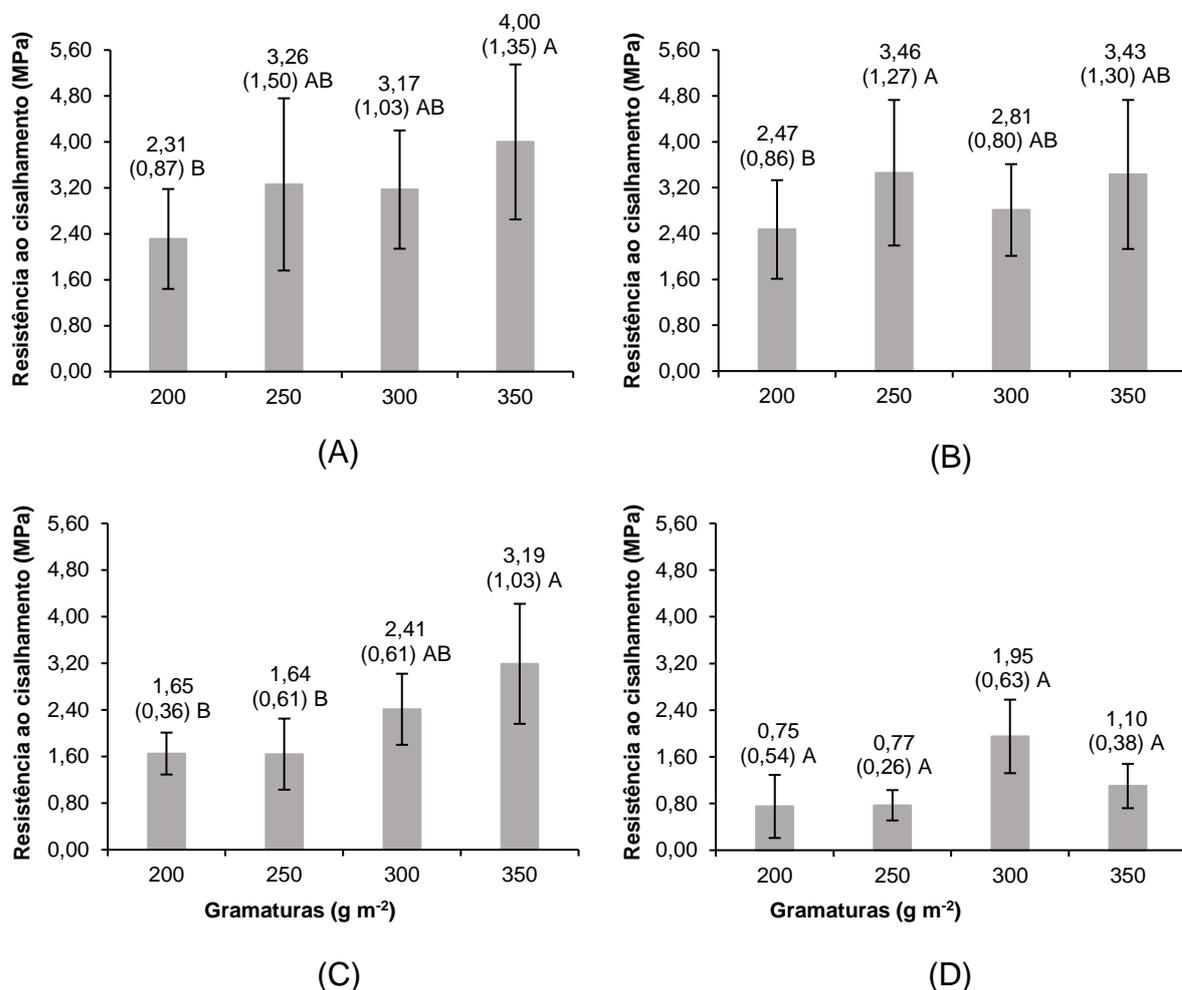
Figura 1. Desempenho da resistência ao cisalhamento por tração em madeiras de angico-vermelho coladas com UF (Ureia-formaldeído), RF (resorcinol-formaldeído), PVA (poliacetato de vinila), TUF (tanino + ureia-formaldeído 20:80) nas mesmas gramaturas (200 g m<sup>-2</sup> – A, 250 g m<sup>-2</sup> – B, 300 g m<sup>-2</sup> – C, 350 g m<sup>-2</sup> – D).



Valor entre parênteses corresponde ao desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem estatisticamente (Tukey,  $p > 0,05$ ).

Ao avaliar o desempenho da ureia-formaldeído entre os adesivos, verifica-se que a melhor resistência obtida nas maiores gramaturas (300 g m<sup>-2</sup> e 350 g m<sup>-2</sup>) foi resultante da colagem com a ureia (Figura 1 C, D). No entanto, comparando o desempenho de forma isolada, verifica-se uma leve queda na resistência das amostras coladas com ureia-formaldeído na gramatura de 300 g m<sup>-2</sup>, seguido de um aumento quando colada na gramatura de 350 g m<sup>-2</sup> (Figura 2 A).

Figura 2. Desempenho individual da resistência ao cisalhamento por tração em madeiras de angico-vermelho coladas com UF (Ureia-formaldeído - A), RF (resorcinol-formaldeído - B), PVA (poliacetato de vinila - C), TUF (tanino + ureia-formaldeído 20:80 - D) em diferentes gramaturas (200 g m<sup>-2</sup>, 250 g m<sup>-2</sup>, 300 g m<sup>-2</sup>, 350 g m<sup>-2</sup>).



Valor entre parênteses corresponde ao desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem estatisticamente (Tukey,  $p > 0,05$ ).

Esse mesmo comportamento foi observado na colagem com resorcinol-formaldeído, que demonstrou melhor desempenho quando as peças foram coladas nas gramaturas 250 g m<sup>-2</sup> e 350 g m<sup>-2</sup>, apresentando um declínio na gramatura de 300 g m<sup>-2</sup> (Figura 2 B). Essa ocorrência pode estar associada a alguma deficiência durante o processo de colagem, tais como, tempo de prensagem, espalhamento do adesivo e outros.

Destaca-se que apesar do declínio observado, o resorcinol-formaldeído apresentou a melhor resistência em comparação aos demais adesivos quando colado nas gramaturas de 200 g m<sup>-2</sup> e 250 g m<sup>-2</sup> (Figura 1 A, B).

Em relação ao PVA, verifica-se que o melhor desempenho do adesivo foi obtido na gramatura de 350 g m<sup>-2</sup> (Figura 2 C), sendo sua resistência considerada baixa quando comparado a ureia-formaldeído e ao resorcinol-formaldeído, mas com certa superioridade em relação as peças coladas com tanino + ureia-formaldeído 20:80 (Figura 1 D).

Ao estudar o comportamento do angico-vermelho à adesão com o PVA e o resorcinol-formaldeído, Marcati e Della Lucia (1996) também verificaram uma inferioridade do PVA em relação ao resorcinol, sendo os valores encontrados para a resistência das juntas coladas iguais a 108,5 kgf cm<sup>-2</sup> (10,64 MPa) e 143,5 kgf cm<sup>-2</sup> (14,07 MPa), respectivamente. Os autores explicam que esse resultado se deve ao fato de o PVA não ser um adesivo estrutural, o que promoveu uma baixa resistência dos blocos.

O tanino + ureia-formaldeído 20:80 foi o adesivo que apresentou o pior desempenho entre os demais, sendo a maior resistência obtida em madeiras coladas na gramatura de 300 g m<sup>-2</sup> (Figura 2 D). Vale destacar que além do alto teor de extrativos da madeira e alta viscosidade do adesivo, a densidade básica da espécie também pode ter influenciado negativamente na qualidade da colagem, estando os valores obtidos na faixa de 0,63 g cm<sup>-3</sup> e 0,56 g cm<sup>-3</sup> (4 m x 4 m e 5 m x 5 m, respectivamente).

Conforme abordagem de Campos e Lahr (2004), a densidade da espécie está relacionada com a sua porosidade e permeabilidade, influenciando o grau de rugosidade e as funções de mobilidade, sendo esses, fatores determinantes na formação da ligação adesivo-substrato. Quando a colagem é feita em madeiras com densidade alta, ocorre uma degradação mais acelerada da peça colada, o que resulta em uma colagem de baixa qualidade.

Essa ocorrência pode estar associada a carga aplicada durante a prensagem das peças de densidade elevada (1,2 MPa), que de acordo alguns autores, pode promover uma maior pressão do adesivo sobre a madeira, levando a um rompimento da parede celular e resultando em uma linha de cola fraca (TSOUMIS, 1991<sup>7</sup> citado por MARRA, 1992; PLASTER et al., 2008).

De modo geral, ao considerar os critérios da ASTM D-5751 (2005) sobre a resistência ao cisalhamento na linha de cola, verifica-se que o valores médios obtidos

---

<sup>7</sup> MARRA, A. A. **Technology of wood bonding**: principles in practice. New York: V. N. Reinhold, 1992. 454 p.

(Tabela 4) nesse estudo não atingiram o que é estabelecido pela norma, que deve ser no mínimo 60% do valor obtido para a resistência ao cisalhamento da madeira sólida, ou seja, 10,51 MPa (17,51 MPa – média da resistência da madeira sólida entre os espaçamentos). Essa não conformidade pode dificultar a inserção da madeira de angico-vermelho na indústria de juntas coladas, uma vez que, adesivos de escala industrial foram testados.

### 3.4 Avaliação da falha na madeira

Os valores médios da falha da madeira estão apresentados na Tabela 5. Conforme observado, verifica-se que a falha na madeira seguiu as mesmas variações observadas na resistência ao cisalhamento na linha de cola (Tabela 4).

Tabela 5. Valores médios para a falha na madeira de angico-vermelho.

| ADESIVOS | FALHA NA MADEIRA (%)            |       |       |       |
|----------|---------------------------------|-------|-------|-------|
|          | GRAMATURAS (g m <sup>-2</sup> ) |       |       |       |
|          | 200                             | 250   | 300   | 350   |
| UF#      | 27,15                           | 43,06 | 42,48 | 55,18 |
| RF       | 31,95                           | 45,71 | 34,07 | 42,50 |
| PVA      | 20,00                           | 19,43 | 33,47 | 41,32 |
| TUF      | 7,62                            | 10,79 | 16,73 | 14,29 |

# UF: Ureia-formaldeído; RF: resorcinol-formaldeído; PVA: poliacetato de vinila; TUF: tanino + ureia-formaldeído 20:80.

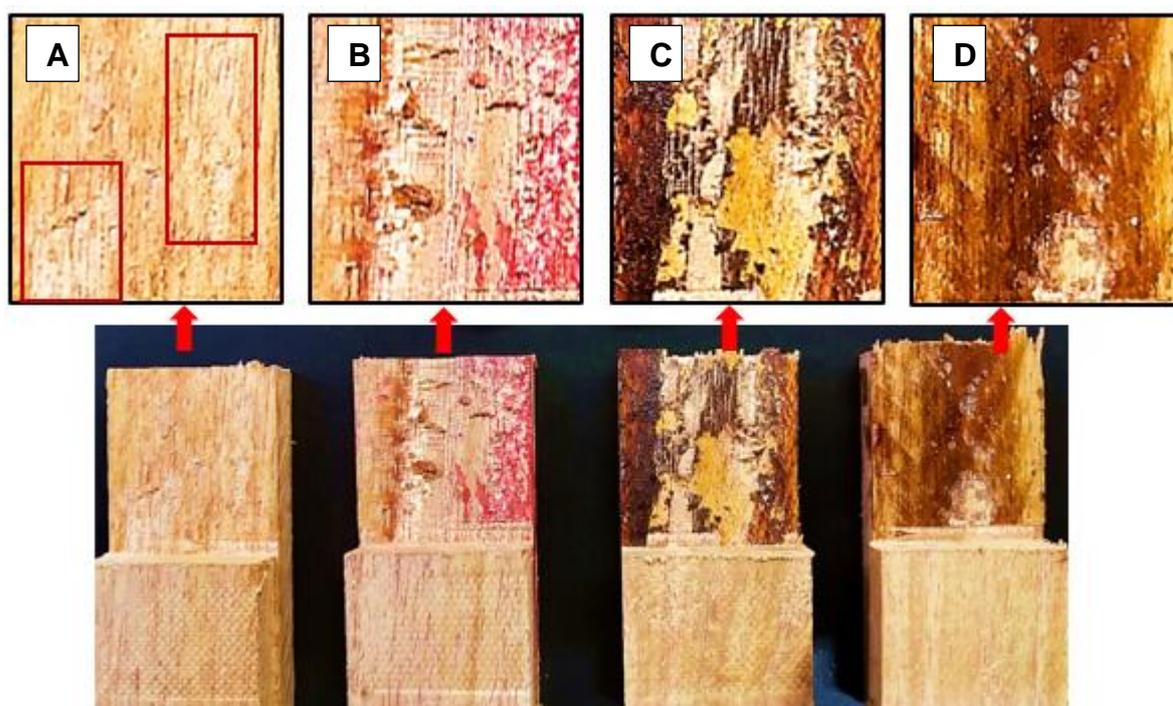
O maior valor médio foi obtido em madeiras coladas com ureia-formaldeído na gramatura de 350 g m<sup>-2</sup>, sendo a porcentagem da falha de 55,18%. Esse valor é inferior ao que foi encontrado por Gonçalves et al. (2016) na colagem de madeiras de *Pinus* sp. na gramatura de 300 g m<sup>-2</sup>, sendo a porcentagem de falha na madeira igual a 90,90%. Essa porcentagem obtida pelos autores é justificada pela resistência ao cisalhamento na linha de cola que foi de 8,99 MPa, sendo superior ao que foi verificado nesse estudo.

A figura 3 ilustra o desempenho das falhas na madeira de angico-vermelho. De acordo a imagem, é possível constatar que em boa parte, as falhas ocorreram no adesivo, havendo um rompimento superficial de algumas amostras.

A porcentagem de falha na madeira expressa a eficiência da colagem, sendo a alta porcentagem um indicativo de maior resistência na linha de cola. Levando em consideração os critérios estabelecidos pela norma ASTM D-5266 (2020) para a falha

na madeira, constata-se que a colagem da madeira de angico-vermelho com os diferentes adesivos e nas diferentes gramaturas foi de baixa qualidade, estando a porcentagem das falhas abaixo dos 60% recomendado pela norma. Esse fato demonstra que não houve uma boa adesão entre a madeira e os adesivos, resultando em uma colagem de qualidade inferior.

Figura 3. Falhas nas juntas coladas com diferentes adesivos estudados.



A – Junta colada com PVA; B – Junta colada com UF; C – Junta colada com TUF; D – Junta colada com RF. O destaque apresentado na figura 3A realça os locais de falha na junta colada com PVA

Esse mesmo desempenho foi observado por Oliveira (2016) para madeiras das espécies cedro indiano e eucalipto, sendo os valores encontrados iguais a 23,96 e 17,25%, respectivamente. O autor explica que as baixas porcentagens foram decorrentes da elevada densidade das espécies e o elevado teor de extrativos, o que contribuiu para a inativação da superfície da madeira.

#### **4. CONCLUSÕES**

Independente do adesivo empregado na colagem, constata-se que não houve uma adesão satisfatória com a madeira de angico-vermelho de acordo com protocolos internacionais.

Os resultados indicam que os fatores intrínsecos a madeira como a densidade e teor de extrativos contribuíram para formação de fracas linhas de cola, gerando juntas coladas de baixa qualidade.

Contudo, recomenda-se que testes com a madeira de angico-vermelho sejam realizados de maneira mais detalhada, sendo importante levar em consideração os diferentes tipos de adesivos, as diferentes gramaturas, as características anatômicas do material, tempo de prensagem e método de colagem (a quente ou a frio), além da aplainagem do material que podem promover uma melhor resposta sobre o desempenho das juntas coladas.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, C.E.C. Adesivos e adesão. In: IWAKIRI, S. (ed.). **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005. p.13-42.

ALMEIDA, N.F.; MORI, F.A.; GOULART, S.L.; MENDES, L.A. Estudo da reatividade de taninos de folhas e cascas de barbatimão *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville. **Scientia Forestalis**, v. 38, n. 87, p. 401-408, 2010.

ALMEIDA, V.C. **Efeito da adição de carga e extensor nas propriedades do adesivo ureia-formaldeído e dos compensados de *Pinus elliottii* e *Schizolobium amazonicum***. 2009. 86f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-2339**: standard test method for strength properties of adhesives in two-ply wood construction in shear by tension loading. Annual Book of ASTM Standards. West Conshohocken, 2020. 3p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-5266**: standard practice for estimating the percentage of wood failure in adhesive bonded joints. Annual Book of ASTM Standards. West Conshohocken, v.15.06, 2020.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-5751**: adhesives used for laminate joints in nonstructural lumber products. Pennsylvania, 2005. 11 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7190**: projeto de estruturas de madeira. Anexo B – Determinação das propriedades das madeiras para projetos de estruturas. Rio de Janeiro, 1997. 107p.

BIANCHE, J.J. **Interface madeira-adesivo e resistência de juntas coladas com diferentes adesivos e gramatura**. 2014. 85f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.

BIANCHE, J.J.; TEIXEIRA, A.P.M.; LADEIRA, J.P.S.; CARNEIRO, A.C.O.; CASTRO, R.V.O.; DELLA LÚCIA, R.M. Cisalhamento na linha de cola de *Eucalyptus* sp. colado com diferentes adesivos e diferentes gramaturas. **Floresta e Ambiente**, v. 24, p. 1-9, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.077114>

BOA, A.C.; GONÇALVES, F.G.; OLIVEIRA, J.T.S.; PAES, J.B.; ARANTES, M.D.C. Resíduos madeireiros de eucalipto colados com resina ureia formaldeído à temperatura ambiente. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 102, p. 279-288, 2014.

BRITO, E.O. **Produção de chapas de partículas de madeira a partir de maravalhas de *Pinus elliottii* Engelm. Var. elliottii plantado no sul do Brasil**. 1995. 120f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.

BUFALINO, L.; PROTÁSIO, T.P.; COUTO, A.M.; NASSUR, O.A.C.; SÁ, V.A.; TRUGILHO, P.F.; MENDES, L.M. Caracterização química e energética para aproveitamento da madeira de costaneira e desbaste de cedro australiano. **Pesquisa**

**Florestal Brasileira**, v. 32, n. 70, p. 129-137, 2012. Doi: <https://doi.org/10.4336/2012.pfb.32.70.13>

BULIGON, E.A. **Características físico-mecânicas de painéis de lâminas paralelas reforçados com fibra de vidro**. 2011. 96f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

CAMPOS, C.I.; LAHR, F.A.R. Estudo comparativo dos resultados de ensaio de tração perpendicular para MDF produzido em laboratório com fibras de pinus e eucalipto utilizando ureia-formaldeído. **Revista Matéria**, v. 9, n. 1, p. 29-40, 2004.

CARNEIRO, A.C.O. **Efeito da hidrólise ácida e sulfitação de taninos de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e *Anadenanthera peregrina* Speg., nas propriedades dos adesivos**. 2006. 158f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

CARNEIRO, A.C.O.; VITAL, B.R.; FREDERICO, P.G.U.; CARVALHO, A.M.M.L.; VIDAURRE, G.P. Propriedades de chapas de aglomerados fabricadas com adesivo tânico de angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina*) e ureia-formaldeído. **Revista Árvore**, v. 33, n. 3, p. 521-531, 2009. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622009000300014>

CHAVES, I.L.S. **Extração e caracterização de taninos de cascas de eucalipto cultivado em ambientes contrastantes**. 2018. 59f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2018.

ENDO, C.; TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S. Produção de EGP com diferentes adesivos PVAc e sistemas de prensagem. **Floresta e Ambiente**, v. 24, p. 1-9, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.147415>

FRIHART, C.R., HUNT, C.G. Adhesives with wood materials: bond formation and performance. In: ROSS, R.J. (Ed.). **Wood Handbook: wood as an engineering material**. 100 ed. Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. Chapter 10, p. 10.1-10.24. (General Technical Report FPL-GTR-190).

GONÇALVES, F.G.; LELIS, R.C.C. Caracterização tecnológica da madeira de *Acacia mangium* Willd em plantio consorciado com eucalipto. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 3, p. 286-295, 2012. Doi: <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2012.034>

GONÇALVES, F.G.; LELIS, R.C.C. Propriedades de duas resinas sintéticas após adição de tanino modificado. **Floresta e Ambiente**, v. 16, n. 2, p. 01-07, 2009.

GONÇALVES, F.G.; SEGUNDINHO, P.G.A.; SCHAYDER, L.F.; TINTI, V.P.; SANTIAGO, S.B. Avaliação da resistência ao cisalhamento da madeira de *Pinus* sp. coladas em temperatura ambiente. **Ciência da Madeira**, v. 7, n. 1, p. 42-50, 2016. Doi: <https://doi.org/10.12953/2177-6830/rcm.v7n1p42-50>

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná - FUPEF, 2005.

MARCATI, C.R.; DELLA LUCIA, R.M. Comportamento do angico-vermelho (*Piptadenia peregrina* Benth.) à adesão com PVA (acetato de polivinila) e resorcinol formaldeído. **Cerne**, v.2, n.1, 1996.

MENDES, L.M.; ALBUQUERQUE, C.E.C. Aspectos técnicos e econômicos da indústria brasileira de chapas de fibras e partículas. **Revista da Madeira**, n. 53, p. 14-22, 2000.

MENDONZA, Z.M.S.H.; BORGES, P.H.M.; RIBEIRO, A.S.; FERNANDES, F.B. Aspectos gerais sobre adesivos para madeira. **Multitemas**, v. 22, n. 51, p. 49-68, 2017. Doi: <http://dx.doi.org/10.20435/multi.v22i51.1412>

OLIVEIRA, S.L. **Interação da espécie de madeira e do tipo de adesivo na qualidade da madeira laminada colada**. 2016. 123f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

PAES, J.B.; NETO, P.N.M.; LIMA, C.R.; FREITAS, M.F, DINIZ, C.E.F. Efeitos dos extrativos e cinzas na resistência natural de quatro madeiras a cupins xilófagos. **Cerne**, v. 19, n. 3, p. 399-405, 2013. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0104-77602013000300006>

PIZZI, A.; MITTAL, K. L. **Handbook of adhesive technology**. 2 ed., New York: Marcell Dekker, 2003. 1024 p.

PLASTER, O.B.; OLIVEIRA, J.T.S.; ABRAHÃO, C.P.; BRAZ, R.L. Comportamento de juntas coladas da madeira serrada de *Eucalyptus* sp.. **Cerne**, v. 14, n. 3, p. 251-258, 2008.

PRIMO, M.O.; LIMA, F.C.C. Tipos de adesivo e a sua aplicação nos diversos produtos madeireiros. In: XX SIMPÓSIO DE CIÊNCIAS APLICADAS DA FAEF, 20, Garça, 2017. **Anais...** Garça, 2017.

SANTIAGO, S.B. **Taninos da casca de eucalipto e sua eficiência na colagem de madeira**. 2016. 69f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2016.

SEGUNDINHO, P.G.A.; GONÇALVES, F.G.; GAVA, G.C.; TINTI, V.P.; ALVES, S.D.; REGAZZI, A.J. Eficiência da colagem de madeira tratada de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell para produção de madeira laminada colada (MLC). **Revista Matéria**, v. 22, n. 2, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1590/s1517-707620170002.0140>

SILVA, G.C.; LELIS, R.C.C.; OLIVEIRA, G.L.; SILVA, B.C.; LOSSANO, W.C.S.; ABREU, H.S. Propriedades de adesivo aplicado em painéis a partir da substituição por lignossulfonato do processo sufito. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 1, p. 322-335, 2019. Doi: <https://doi.org/10.5902/1980509818414>

SOUZA, C.O. **Potencial energético da madeira e carvão vegetal de angico vermelho (*Anadenanthera peregrina*) jovem**. 2018. 49f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2018.

SOUZA, L.D.S.; ASSIS, G.A.G.; SANTOS, L.C.; JÚNIOR, W.S.; NUNES, V.D.L.; FERREIRA, J.C.; CARNEIRO, A.C.O.; CARVALHO, A.M.M.L. Adesivos ureia-formaldeído e sua aplicação na produção de painéis de madeira. In: III CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA, 3, Florianópolis, 2017. **Anais...** Florianópolis: CBCTEM, 2017.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY - TAPPI. **T-204 om-88**: solvent extractives of wood and pulp. Atlanta: TAPPI Press, 1996

TRIANOSKI, R. **Avaliação da qualidade da madeira de espécies de Pinus tropicais por meio de métodos convencionais e não destrutivos**. 554p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood**: structure, properties, utilization. New York: V. N. Reinhold, 1991. 494 p.

## 6. CONCLUSÃO GERAL

De maneira geral, os resultados relativos as propriedades da madeira jovem de angico-vermelho demonstraram que além do maior incremento no lenho, os maiores espaçamentos de plantio (4 m x 4 m e 5 m x 5 m) promoveram características físicas e mecânicas superiores as propriedades do menor espaçamento (3 m x 3 m), sendo seu uso indicado para fins que exigem boa resistência e rigidez.

Os resultados evidenciaram que madeiras desbastadas devem ser mais estudadas para um melhor aproveitamento do material.

Em relação a colagem, não é indicado o uso de madeiras de angico-vermelho que apresente densidade elevada e alto teor de extrativos como observado nesse estudo, pois são fatores que contribuirão negativamente na adesão do substrato com o adesivo, afetando a qualidade das juntas coladas.

Recomenda-se que estudos mais aprofundados sejam realizados em madeiras de angico-vermelho, no intuito de viabilizar seu uso na indústria de madeiras coladas.

## APÊNDICE

**APÊNDICE A** – Análises de variância para as propriedades físicas da madeira de angico-vermelho no sentido base-topo nos diferentes espaçamentos.

**Apêndice A1.** Análise de variância da densidade básica da madeira no sentido base-topo em diferentes espaçamentos.

| ESPAÇAMENTO 3 x 3 m |                    |                    |                |                        |
|---------------------|--------------------|--------------------|----------------|------------------------|
| Fonte de variação   | Graus de Liberdade | Soma dos Quadrados | Quadrado Médio | Fc                     |
| Regressão           | 1                  | 0,00961            | 0,00961        | 10,63838 <sup>ns</sup> |
| Resíduo             | 3                  | 0,00271            | 0,000903       |                        |
| Total               | 4                  | 0,01232            |                |                        |
| ESPAÇAMENTO 4 x 4 m |                    |                    |                |                        |
| Fonte de variação   | Graus de Liberdade | Soma dos Quadrados | Quadrado Médio | Fc                     |
| Regressão           | 1                  | 0,01296            | 0,01296        | 243 <sup>ns</sup>      |
| Resíduo             | 3                  | 0,00016            | 0,0000533      |                        |
| Total               | 4                  | 0,01312            |                |                        |
| ESPAÇAMENTO 5 x 5 m |                    |                    |                |                        |
| Fonte de variação   | Graus de Liberdade | Soma dos Quadrados | Quadrado Médio | Fc                     |
| Regressão           | 1                  | 0,00196            | 0,00196        | 36,75 <sup>ns</sup>    |
| Resíduo             | 3                  | 0,00016            | 0,0000533      |                        |
| Total               | 4                  | 0,00212            |                |                        |

# ns – não há diferença significativa ( $F > 0,05$ ) pelo teste F.

**Apêndice A2.** Análise de variância da retratibilidade axial da madeira no sentido base-topo em diferentes espaçamentos.

| ESPAÇAMENTO 3 x 3 m |                    |                    |                |                        |
|---------------------|--------------------|--------------------|----------------|------------------------|
| Fonte de variação   | Graus de Liberdade | Soma dos Quadrados | Quadrado Médio | Fc                     |
| Regressão           | 1                  | 0,01089            | 0,01089        | 142,0435 <sup>ns</sup> |
| Resíduo             | 3                  | 0,00023            | 0,0000767      |                        |
| Total               | 4                  | 0,01112            |                |                        |
| ESPAÇAMENTO 4 x 4 m |                    |                    |                |                        |
| Fonte de variação   | Graus de Liberdade | Soma dos Quadrados | Quadrado Médio | Fc                     |
| Regressão           | 1                  | 0,02116            | 0,02116        | 122,0769 <sup>ns</sup> |
| Resíduo             | 3                  | 0,00052            | 0,000173       |                        |
| Total               | 4                  | 0,02168            |                |                        |
| ESPAÇAMENTO 5 x 5 m |                    |                    |                |                        |
| Fonte de variação   | Graus de Liberdade | Soma dos Quadrados | Quadrado Médio | Fc                     |
| Regressão           | 1                  | 0,01156            | 0,01156        | 216,75 <sup>ns</sup>   |
| Resíduo             | 3                  | 0,00016            | 0,0000533      |                        |
| Total               | 4                  | 0,01172            |                |                        |

# ns – não há diferença significativa ( $F > 0,05$ ) pelo teste F.

**Apêndice A3.** Análise de variância da retratibilidade radial da madeira no sentido base-topo em diferentes espaçamentos.

| <b>ESPAÇAMENTO 3 x 3 m</b> |                           |                           |                       |                        |
|----------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------|------------------------|
| <b>Fonte de variação</b>   | <b>Graus de Liberdade</b> | <b>Soma dos Quadrados</b> | <b>Quadrado Médio</b> | <b>Fc</b>              |
| Regressão                  | 1                         | 2,58064                   | 2,58064               | 59,3523 <sup>ns</sup>  |
| Resíduo                    | 3                         | 0,13044                   | 0,04348               |                        |
| Total                      | 4                         | 2,71108                   |                       |                        |
| <b>ESPAÇAMENTO 4 x 4 m</b> |                           |                           |                       |                        |
| <b>Fonte de variação</b>   | <b>Graus de Liberdade</b> | <b>Soma dos Quadrados</b> | <b>Quadrado Médio</b> | <b>Fc</b>              |
| Regressão                  | 1                         | 2,33289                   | 2,33289               | 40,7587 <sup>ns</sup>  |
| Resíduo                    | 3                         | 0,17171                   | 0,057237              |                        |
| Total                      | 4                         | 2,5046                    |                       |                        |
| <b>ESPAÇAMENTO 5 x 5 m</b> |                           |                           |                       |                        |
| <b>Fonte de variação</b>   | <b>Graus de Liberdade</b> | <b>Soma dos Quadrados</b> | <b>Quadrado Médio</b> | <b>Fc</b>              |
| Regressão                  | 1                         | 1,225                     | 1,225                 | 900,7353 <sup>ns</sup> |
| Resíduo                    | 3                         | 0,00408                   | 0,00136               |                        |
| Total                      | 4                         | 1,22908                   |                       |                        |

# ns – não há diferença significativa ( $F > 0,05$ ) pelo teste F.

**Apêndice A4.** Análise de variância da retratibilidade tangencial da madeira no sentido base-topo em diferentes espaçamentos.

| <b>ESPAÇAMENTO 3 x 3 m</b> |                           |                           |                       |                        |
|----------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------|------------------------|
| <b>Fonte de variação</b>   | <b>Graus de Liberdade</b> | <b>Soma dos Quadrados</b> | <b>Quadrado Médio</b> | <b>Fc</b>              |
| Regressão                  | 1                         | 4,63761                   | 4,63761               | 33,4066 <sup>ns</sup>  |
| Resíduo                    | 3                         | 0,41647                   | 0,138823              |                        |
| Total                      | 4                         | 5,05408                   |                       |                        |
| <b>ESPAÇAMENTO 4 x 4 m</b> |                           |                           |                       |                        |
| <b>Fonte de variação</b>   | <b>Graus de Liberdade</b> | <b>Soma dos Quadrados</b> | <b>Quadrado Médio</b> | <b>Fc</b>              |
| Regressão                  | 1                         | 8,76096                   | 8,76096               | 67,5722 <sup>ns</sup>  |
| Resíduo                    | 3                         | 0,38896                   | 0,129653              |                        |
| Total                      | 4                         | 9,14992                   |                       |                        |
| <b>ESPAÇAMENTO 5 x 5 m</b> |                           |                           |                       |                        |
| <b>Fonte de variação</b>   | <b>Graus de Liberdade</b> | <b>Soma dos Quadrados</b> | <b>Quadrado Médio</b> | <b>Fc</b>              |
| Regressão                  | 1                         | 3,86884                   | 3,86884               | 180,0019 <sup>ns</sup> |
| Resíduo                    | 3                         | 0,06448                   | 0,021493              |                        |
| Total                      | 4                         | 3,93332                   |                       |                        |

# ns – não há diferença significativa ( $F > 0,05$ ) pelo teste F.

**Apêndice A5.** Análise de variância da retratibilidade volumétrica da madeira no sentido base-topo em diferentes espaçamentos.

| <b>ESPAÇAMENTO 3 x 3 m</b> |                           |                           |                       |                        |
|----------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------|------------------------|
| <b>Fonte de variação</b>   | <b>Graus de Liberdade</b> | <b>Soma dos Quadrados</b> | <b>Quadrado Médio</b> | <b>Fc</b>              |
| Regressão                  | 1                         | 19,044                    | 19,044                | 122,8962 <sup>ns</sup> |
| Resíduo                    | 3                         | 0,46488                   | 0,15496               |                        |
| Total                      | 4                         | 19,50888                  |                       |                        |
| <b>ESPAÇAMENTO 4 x 4 m</b> |                           |                           |                       |                        |
| <b>Fonte de variação</b>   | <b>Graus de Liberdade</b> | <b>Soma dos Quadrados</b> | <b>Quadrado Médio</b> | <b>Fc</b>              |
| Regressão                  | 1                         | 17,66241                  | 17,66241              | 92,3653 <sup>ns</sup>  |
| Resíduo                    | 3                         | 0,57367                   | 0,191223              |                        |
| Total                      | 4                         | 18,23608                  |                       |                        |
| <b>ESPAÇAMENTO 5 x 5 m</b> |                           |                           |                       |                        |
| <b>Fonte de variação</b>   | <b>Graus de Liberdade</b> | <b>Soma dos Quadrados</b> | <b>Quadrado Médio</b> | <b>Fc</b>              |
| Regressão                  | 1                         | 7,58641                   | 7,58641               | 74,8881 <sup>ns</sup>  |
| Resíduo                    | 3                         | 0,30391                   | 0,101303              |                        |
| Total                      | 4                         | 7,89032                   |                       |                        |

# ns – não há diferença significativa ( $F > 0,05$ ) pelo teste F.

**Apêndice A6.** Análise de variância do grau de colapso da madeira no sentido base-topo em diferentes espaçamentos.

| <b>ESPAÇAMENTO 3 x 3 m</b> |                           |                           |                       |           |
|----------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------|-----------|
| <b>Fonte de variação</b>   | <b>Graus de Liberdade</b> | <b>Soma dos Quadrados</b> | <b>Quadrado Médio</b> | <b>Fc</b> |
| Regressão                  | 1                         | 1,521                     | 1,521                 | 64,2676*  |
| Resíduo                    | 3                         | 0,071                     | 0,023667              |           |
| Total                      | 4                         | 1,592                     |                       |           |
| <b>ESPAÇAMENTO 4 x 4 m</b> |                           |                           |                       |           |
| <b>Fonte de variação</b>   | <b>Graus de Liberdade</b> | <b>Soma dos Quadrados</b> | <b>Quadrado Médio</b> | <b>Fc</b> |
| Regressão                  | 1                         | 0,625                     | 0,625                 | 267,8571* |
| Resíduo                    | 3                         | 0,007                     | 0,002333              |           |
| Total                      | 4                         | 0,632                     |                       |           |
| <b>ESPAÇAMENTO 5 x 5 m</b> |                           |                           |                       |           |
| <b>Fonte de variação</b>   | <b>Graus de Liberdade</b> | <b>Soma dos Quadrados</b> | <b>Quadrado Médio</b> | <b>Fc</b> |
| Regressão                  | 1                         | 0,576                     | 0,576                 | 432*      |
| Resíduo                    | 3                         | 0,004                     | 0,001333              |           |
| Total                      | 4                         | 0,58                      |                       |           |

# \* há diferença significativa ( $F > 0,05$ ) pelo teste F.

**APÊNDICE B** – Análises de variância para as propriedades físicas da madeira de angico-vermelho no sentido medula-casca nos diferentes espaçamentos.

**Apêndice B1.** Análise de variância da densidade básica da madeira no sentido medula-casca em diferentes espaçamentos.

| <b>ESPAÇAMENTO 3 x 3 m</b> |                           |                           |                       |           |
|----------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------|-----------|
| <b>Fonte de variação</b>   | <b>Graus de Liberdade</b> | <b>Soma dos Quadrados</b> | <b>Quadrado Médio</b> | <b>Fc</b> |
| Regressão                  | 1                         | 0,01681                   | 0,01681               | 720,4286* |
| Resíduo                    | 3                         | 0,00007                   | 0,00002333            |           |
| Total                      | 4                         | 0,01688                   |                       |           |
| <b>ESPAÇAMENTO 4 x 4 m</b> |                           |                           |                       |           |
| <b>Fonte de variação</b>   | <b>Graus de Liberdade</b> | <b>Soma dos Quadrados</b> | <b>Quadrado Médio</b> | <b>Fc</b> |
| Regressão                  | 1                         | 0,004628571               | 0,004628571           | 19,7561*  |
| Resíduo                    | 5                         | 0,001171429               | 0,000234286           |           |
| Total                      | 6                         | 0,01312                   |                       |           |
| <b>ESPAÇAMENTO 5 x 5 m</b> |                           |                           |                       |           |
| <b>Fonte de variação</b>   | <b>Graus de Liberdade</b> | <b>Soma dos Quadrados</b> | <b>Quadrado Médio</b> | <b>Fc</b> |
| Regressão                  | 1                         | 0,039272727               | 0,039272727           | 88,0734*  |
| Resíduo                    | 8                         | 0,003567273               | 0,000445909           |           |
| Total                      | 9                         | 0,04284                   |                       |           |

# \* há diferença significativa ( $F > 0,05$ ) pelo teste F.

**Apêndice B2.** Análise de variância da retratibilidade axial da madeira no sentido medula-casca em diferentes espaçamentos.

| <b>ESPAÇAMENTO 3 x 3 m</b> |                           |                           |                       |           |
|----------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------|-----------|
| <b>Fonte de variação</b>   | <b>Graus de Liberdade</b> | <b>Soma dos Quadrados</b> | <b>Quadrado Médio</b> | <b>Fc</b> |
| Regressão                  | 1                         | 0,05625                   | 0,05625               | 251,8657* |
| Resíduo                    | 3                         | 0,00067                   | 0,000223333           |           |
| Total                      | 4                         | 0,05692                   |                       |           |
| <b>ESPAÇAMENTO 4 x 4 m</b> |                           |                           |                       |           |
| <b>Fonte de variação</b>   | <b>Graus de Liberdade</b> | <b>Soma dos Quadrados</b> | <b>Quadrado Médio</b> | <b>Fc</b> |
| Regressão                  | 1                         | 0,049728571               | 0,049728571           | 32,5327*  |
| Resíduo                    | 5                         | 0,007642857               | 0,001528571           |           |
| Total                      | 6                         | 0,057371429               |                       |           |
| <b>ESPAÇAMENTO 5 x 5 m</b> |                           |                           |                       |           |
| <b>Fonte de variação</b>   | <b>Graus de Liberdade</b> | <b>Soma dos Quadrados</b> | <b>Quadrado Médio</b> | <b>Fc</b> |
| Regressão                  | 1                         | 0,060548182               | 0,060548182           | 106,6501* |
| Resíduo                    | 8                         | 0,004541818               | 0,000567727           |           |
| Total                      | 9                         | 0,06509                   |                       |           |

# \* há diferença significativa ( $F > 0,05$ ) pelo teste F.

**Apêndice B3.** Análise de variância da retratibilidade radial da madeira no sentido medula-casca em diferentes espaçamentos.

| <b>ESPAÇAMENTO 3 x 3 m</b> |                           |                           |                       |           |
|----------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------|-----------|
| <b>Fonte de variação</b>   | <b>Graus de Liberdade</b> | <b>Soma dos Quadrados</b> | <b>Quadrado Médio</b> | <b>Fc</b> |
| Regressão                  | 1                         | 5,79121                   | 5,79121               | 56,3512*  |
| Resíduo                    | 3                         | 0,30831                   | 0,10277               |           |
| Total                      | 4                         | 0,05692                   |                       |           |
| <b>ESPAÇAMENTO 4 x 4 m</b> |                           |                           |                       |           |
| <b>Fonte de variação</b>   | <b>Graus de Liberdade</b> | <b>Soma dos Quadrados</b> | <b>Quadrado Médio</b> | <b>Fc</b> |
| Regressão                  | 1                         | 5,385657                  | 5,385657              | 50,3306*  |
| Resíduo                    | 5                         | 0,535029                  | 0,107006              |           |
| Total                      | 6                         | 0,057371429               |                       |           |
| <b>ESPAÇAMENTO 5 x 5 m</b> |                           |                           |                       |           |
| <b>Fonte de variação</b>   | <b>Graus de Liberdade</b> | <b>Soma dos Quadrados</b> | <b>Quadrado Médio</b> | <b>Fc</b> |
| Regressão                  | 1                         | 10,01197091               | 10,01197091           | 350,0244* |
| Resíduo                    | 8                         | 0,228829091               | 0,028604              |           |
| Total                      | 9                         | 0,06509                   |                       |           |

# \* há diferença significativa ( $F > 0,05$ ) pelo teste F.

**Apêndice B4.** Análise de variância da retratibilidade tangencial da madeira no sentido medula-casca em diferentes espaçamentos.

| <b>ESPAÇAMENTO 3 x 3 m</b> |                           |                           |                       |           |
|----------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------|-----------|
| <b>Fonte de variação</b>   | <b>Graus de Liberdade</b> | <b>Soma dos Quadrados</b> | <b>Quadrado Médio</b> | <b>Fc</b> |
| Regressão                  | 1                         | 13,924                    | 13,924                | 31,5137*  |
| Resíduo                    | 3                         | 1,32552                   | 0,44184               |           |
| Total                      | 4                         | 15,24952                  |                       |           |
| <b>ESPAÇAMENTO 4 x 4 m</b> |                           |                           |                       |           |
| <b>Fonte de variação</b>   | <b>Graus de Liberdade</b> | <b>Soma dos Quadrados</b> | <b>Quadrado Médio</b> | <b>Fc</b> |
| Regressão                  | 1                         | 30,74413                  | 30,74413              | 76,1688*  |
| Resíduo                    | 5                         | 2,018157                  | 0,403631              |           |
| Total                      | 6                         | 32,76229                  |                       |           |
| <b>ESPAÇAMENTO 5 x 5 m</b> |                           |                           |                       |           |
| <b>Fonte de variação</b>   | <b>Graus de Liberdade</b> | <b>Soma dos Quadrados</b> | <b>Quadrado Médio</b> | <b>Fc</b> |
| Regressão                  | 1                         | 42,44461364               | 42,44461364           | 40,14968* |
| Resíduo                    | 8                         | 8,457276364               | 1,05716               |           |
| Total                      | 9                         | 50,90189                  |                       |           |

# \* há diferença significativa ( $F > 0,05$ ) pelo teste F.

**Apêndice B5.** Análise de variância da retratibilidade volumétrica da madeira no sentido medula-casca em diferentes espaçamentos.

| <b>ESPAÇAMENTO 3 x 3 m</b> |                           |                           |                       |           |
|----------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------|-----------|
| <b>Fonte de variação</b>   | <b>Graus de Liberdade</b> | <b>Soma dos Quadrados</b> | <b>Quadrado Médio</b> | <b>Fc</b> |
| Regressão                  | 1                         | 19,40449                  | 19,40449              | 16,5858*  |
| Resíduo                    | 3                         | 3,50983                   | 1,1699433             |           |
| Total                      | 4                         | 22,91432                  |                       |           |
| <b>ESPAÇAMENTO 4 x 4 m</b> |                           |                           |                       |           |
| <b>Fonte de variação</b>   | <b>Graus de Liberdade</b> | <b>Soma dos Quadrados</b> | <b>Quadrado Médio</b> | <b>Fc</b> |
| Regressão                  | 1                         | 27,5816                   | 27,5816               | 18,2917*  |
| Resíduo                    | 5                         | 7,539368                  | 1,507874              |           |
| Total                      | 6                         | 35,12094                  |                       |           |
| <b>ESPAÇAMENTO 5 x 5 m</b> |                           |                           |                       |           |
| <b>Fonte de variação</b>   | <b>Graus de Liberdade</b> | <b>Soma dos Quadrados</b> | <b>Quadrado Médio</b> | <b>Fc</b> |
| Regressão                  | 1                         | 54,80263758               | 54,80263758           | 51,7094*  |
| Resíduo                    | 8                         | 8,478562424               | 1,05982               |           |
| Total                      | 9                         | 63,2812                   |                       |           |

# \* há diferença significativa ( $F > 0,05$ ) pelo teste F.

**Apêndice B6.** Análise de variância do grau de colapso da madeira no sentido medula-casca em diferentes espaçamentos.

| <b>ESPAÇAMENTO 3 x 3 m</b> |                           |                           |                       |                        |
|----------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------|------------------------|
| <b>Fonte de variação</b>   | <b>Graus de Liberdade</b> | <b>Soma dos Quadrados</b> | <b>Quadrado Médio</b> | <b>Fc</b>              |
| Regressão                  | 1                         | 3,844                     | 3,844                 | 262,0909 <sup>ns</sup> |
| Resíduo                    | 3                         | 0,044                     | 0,0146667             |                        |
| Total                      | 4                         | 3,888                     |                       |                        |
| <b>ESPAÇAMENTO 4 x 4 m</b> |                           |                           |                       |                        |
| <b>Fonte de variação</b>   | <b>Graus de Liberdade</b> | <b>Soma dos Quadrados</b> | <b>Quadrado Médio</b> | <b>Fc</b>              |
| Regressão                  | 1                         | 1,12                      | 1,12                  | 140 <sup>ns</sup>      |
| Resíduo                    | 5                         | 0,04                      | 0,008                 |                        |
| Total                      | 6                         | 1,16                      |                       |                        |
| <b>ESPAÇAMENTO 5 x 5 m</b> |                           |                           |                       |                        |
| <b>Fonte de variação</b>   | <b>Graus de Liberdade</b> | <b>Soma dos Quadrados</b> | <b>Quadrado Médio</b> | <b>Fc</b>              |
| Regressão                  | 1                         | 1,818939394               | 1,818939394           | 290,678 <sup>ns</sup>  |
| Resíduo                    | 8                         | 0,050060606               | 0,006258              |                        |
| Total                      | 9                         | 1,869                     |                       |                        |

# ns – não há diferença significativa ( $F > 0,05$ ) pelo teste F.

**APÊNDICE C** – Resumo da análise de variância para resistência ao cisalhamento por tração da madeira de angico-vermelho.

**Apêndice C1.** Análise da variância para resistência da colagem ao esforço de cisalhamento por tração em madeiras de angico-vermelho.

| Fonte de Variação   | Graus de Liberdade | Quadrado Médio | F <sub>c</sub> | F <sub>t</sub> (5%) |
|---------------------|--------------------|----------------|----------------|---------------------|
| Adesivo             | 3                  | 27,65          | 27,46          | 0,00 *              |
| Gramatura           | 3                  | 11,88          | 11,79          | 0,00 *              |
| Adesivo x Gramatura | 9                  | 2,18           | 2,16           | 0,03 *              |
| Resíduo             | 169                |                |                |                     |
| Total               | 184                |                |                |                     |